

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

探究精神獎

082807

「爆粒」美學—以 AI 探討爆米花脆感測量與提升之研究

學校名稱：桃園市平鎮區義興國民小學

作者： 小五 陳晏禾 小五 孟穎宣 小五 葉鈞愷	指導老師： 黃凱鈺 林政緯
---------------------------------------	-------------------------

關鍵詞：爆米花、人工智慧、脆裂度測試儀

摘要

為尋找兼具「酥脆」與「軟韌」多層次口感的爆米花製作方法，我們自製了**標準化脆裂度測試儀**、**觀察碎片飛行方向與距離的靶紙**，並使用**人工智慧技術與視覺化統計方法**，來研製最佳的烹飪方法。實驗中歸納發現以**450度**作為烹飪溫度時，若一口咬下爆米花所產生的碎片在口中**飛行距離約1.7 cm**，碎片**截面積大致是0.65 cm²**、且碎片**數量為八片左右**，則可獲得較**酥脆**的口感。反之，若一口咬下的**碎片大於原始面積的25%**且在口中**飛行約1.2 cm**，則能獲得較**軟韌**的口感。而在這烹飪手法下**放置三分鐘**再食用，則更能獲得**層次豐富、酥脆軟韌交會**的口感。實驗中我們還發現了能將「脆」與「韌」的統計差異性視覺化的「**體積飛行球**」工具，它能幫助我們直接「觀察」到何謂好吃的爆米花！

壹、研究動機

我們在家中自製爆米花的時候，並不會特別標準化製作爆米花的環境，包括烹飪用具、油用量、烹飪溫度、烹飪時間，還有客觀的口感測試跟紀錄，所以往往導致製作爆米花的成果參差不齊、時好時壞。為了探討如何能夠烹飪出口感絕佳的優質爆米花，我們開始搜集各方面關於烹飪爆米花的方法，以及口感測試與研究的參考文獻。在對爆米花烹飪手法有了更充分的了解之後，我們決定研究烹飪爆米花的物理條件：(1)保證不會燒焦又有效率的烹飪溫度、(2)一口咬下產生的碎片數量、飛行散佈方向與飛散範圍的面積大小、以及(3)在玉米粒上打洞觀察玉米粒外觀優劣造成的各種影響，希望能從中找出口感豐富的爆米花烹飪方法。

但是在觀察與分析爆米花碎片樣貌的時候，我們遇到了許多在研究與技術上的挑戰。例如：每次壓碎爆米花的進行程序如果沒有嚴格規定，也沒有使用標準化的機械結構執行的話，會容易造成每次的壓碎分布有很大的差異。所以為了可以產生標準化實驗情狀的爆米花碎片，我們自製了一個簡易但是**有效又安全的機械結構**，可以在每次實驗的時候在特定軌道限制下，以自由落體方式來產生**標準化的爆米花碎片**。又為了讓這樣的機械結構可以模擬像我們這樣年紀的兒童咬合狀況，我們也研究且採取了適當重量的儀器來仿造咀嚼爆米花的力道。

但是又因為每次壓碎爆米花的時候，如果沒有事先固定與紀錄好原始爆米花顆粒所在的位置，就無法正確計算碎片的飛行距離跟相對方向。所以我們又開發了可以協助我們事後**正確計算碎片飛行距離跟方向的標準化靶紙**，可以用來得到碎片的飛行紀錄還有協助統計分析的進行。但在分析碎片的時候我們還發現，大量且四散的爆米花碎片很難用人工的方式一片片的紀錄分析還有計算，而且在計算過程中還可能不小心移動了碎片的位置，也可能會由於每個人之間的記錄習慣不同而產生實驗誤差，同時還會產生很劇烈的疲勞感！所以我們又開始學習怎麼使用**人工智慧模型**來幫助我們正確的分析爆米花碎片，同時這個模型也能用來自動化的協助我們計算獲得碎片的飛行距離與方向，並且執行具有**視覺化效果**的統計分析。

最後我們很期待上面提出的各種標準化研究方法與人工智慧工具：標準化的脆裂度測試儀、統計飛行測距與測向靶紙、人工智慧模型，還有體積飛行球的概念，可以貢獻給類似研究做為有效且安全的視覺化統計分析工具。

貳、研究目的

一、設計產生標準化爆米花碎片與測量的安全自製儀器

為了保證在所有**研究目的**中所產生的爆米花碎片的一致性，我們根據兒童咬合力大小設計開發出一種可以有效率又安全產生標準化碎片的機械裝置。也為了可以有效進行統計分析，我們也自製了可以同時記錄碎片原始位置以及飛行距離與方向的標準化靶紙。

二、 使用人工智慧方法紀錄爆米花碎裂前後影像差距與視覺化統計

為了在大量且四散的爆米花碎片上進行有效率的統計計算，同時進一步降低實驗上的各種人為誤差，我們使用人工智慧模型來達成目標。並且我們還能根據模型的幫忙，進一步得到碎片的面積與數量的統計分布，還有各碎片的飛行距離與方向，使得以下的所有研究目的都可以使用具備視覺化的統計資訊來尋找成果跟真相。

三、 不同溫度下的脆裂度、韌性與烹飪時間測試

在本目的中，我們使用研究目的一產生的標準化爆米花碎片與研究目的二產生的人工智慧影像辨識方法，來討論在不同烹飪溫度下的各種爆米花碎片的飛行距離圖還有視覺化碎片統計分析結果，並且找出在我們的烹飪環境下最有效率且不造成燒焦的烹飪溫度。

四、 最佳烹飪爆米花溫度的脆裂度與韌性延伸測試

在本目的中，我們使用上面研究目的一至三中所獲得的爆米花碎片、影像模型以及烹飪溫度，來研究並且利用各種觀察數值來分別定義出爆米花「脆」與「韌」的口感特性；然後再從「體積飛行球」的概念，來視覺化「脆」與「韌」兩者之間的統計差異。

五、 不同等待時間脆裂度與韌性測試

在本目的中，我們使用上面研究目的一至四中所得到的研究成果，並且搭配「體積飛行球」以及各種視覺化統計結果，來研究與解釋在不同等待時間之後的爆米花口感變化，以及描述我們如何發現產生層次豐富、酥脆軟韌交會的口感的方法與過程。

六、 討論玉米粒有孔釋放壓力時，對爆米花的烹飪溫度、爆出時間，以及脆裂度之影響
最後在本目的中，我們使用上面研究目的一至五中所得到的各種研究成果，來研究與解釋以圖釘在玉米粒表面戳洞之後的爆米花口感與碎片外觀上的各式變化，並用來描述玉米粒外觀優劣對口感造成的影響。

參、文獻探討

為了理解爆米花的形成原因還有口感分析，我們蒐集了與爆米花有關的各種文獻，並整理成表一與表二關於爆米花特性的研究成果分析：

表一：爆米花的成因、特性與成分

爆米花玉米粒爆開原因 (文獻[1]、[2])

玉米粒下鍋後內部水份會慢慢變成水蒸氣，當溫度愈高則蒸氣壓會愈大。如果最後壓力高出 9 倍大氣壓力並超過 200 攝氏度時，將使玉米外殼超過能承受的壓力極限並隨之瞬間炸開。這時爆米花的體積將會膨漲到原來的 20 至 40 倍，並且其中的蒸氣壓會隨著內外壓力趨向平衡。

爆米花製作方法與種類 (文獻[3])

1. 受熱要均勻、適量油溫、玉米粒下鍋後需有適當拌炒。
2. 可以爆出爆米花的玉米粒是爆裂種玉米粒，這種玉米粒小且硬，比較適合利用壓力的形成方式來爆出爆米花。

爆米花成分 (文獻[1]、[4])

爆米花的主要原料是玉米、糖和油，成品爆米花大約 50%~70%是碳水化合物(包括玉米中的澱粉與配料糖份)、20%~30%是脂肪，3%~9%左右是蛋白質。

表二：歷屆科展針對爆米花所提出的研究與分析

第 37 屆科展作品 爆出歡笑來 (文獻[5])

1. 以廢物利用的觀點，設計與產生了簡易又能安全製作爆米花的實驗裝置：開心瓶。
2. 觀察與紀錄了玉米粒逐漸轉變成爆米花的過程，包含外觀、聲音與軟硬程度。

第 49 屆科展作品 爆米花屠龍記 (文獻[6])

1. 提出與驗證了爆米花可以用來取代保麗龍的想法。
2. 還有針對爆米花以及保麗龍在各種物理條件上，例如：隔音、耐摔、耐壓、耐撞、保溫等各種相關能力的實驗與比較，並證實爆米花在適當條件下可以取代保麗龍。

第 50 屆科展作品 你溶我濃，特砂請多---糖/水溶液對爆米花脆度的影響 (文獻[7])

1. 本作品發現：糖水溶液的濃度與溫度，對爆米花的脆度有極大影響。
2. 並且獲得了烘乾 5 分鐘後的玉米粒搭配 60 至 80% 的等重砂糖水是最佳的條件。
3. 同時本作品也提出了一個可以計算爆米花脆度的公式：
爆米花脆度 = (極小碎片數量*4) + (小碎片數量*3) + (中碎片數量*2) + (大碎片數量* 1)
同時也提出了他們定義碎片大小的方法以及數值。
4. 本作品與我們的研究目的最接近，但是本作品對於定義碎片大小的方法比較主觀，沒有說明統計結果來支持上面所提出的公式，也沒有標準化產生碎片的儀器與方法。

第 57 屆科展作品 「米」花朵朵開 (文獻[8])

1. 討論玉米粒爆開前後的物理變化，如顏色、大小、軟硬與形狀，並有討論外觀缺損是否會改變爆米花形狀，以及不同糖型與濃度是否影響爆米花脆裂程度。
2. 使用上面第 50 屆科展作品定義的爆米花脆度公式以及爆米花碎片大小的定義，同時有自製的標準化脆裂測試儀器。
3. 針對爆米花形狀是否完整分成三種等級：圓頭(0~35%)、半圓頭(36~70%)、花型(71~100%)
4. 整體研究有統計相關的分析與討論，但有許多實驗上的不確定性，例如分類爆米花形狀主觀性，還有製糖時候的溫度掌握與結晶對口感的影響。

我們的想法整理跟延伸研究

1. 烹飪過程與碎片形成方法會大幅影響口感特性，因此必須設計**標準化儀器與觀測工具**。
2. 因為爆米花碎片形狀與大小千變萬化，所以必須使用**統計方法**來歸納結果。
3. 碎片的處理耗時費力且可能會在計數中影響，所以我們使用**人工智慧方法**。
4. 碎片形狀與大小已經被多次研究，我們應該還能把注意放在**碎片飛行的距離與方向**。
5. 除了定義口感的「脆裂度」，其實爆米花也還存在「**軟韌**」的口感也需要被研究。
6. 統計圖表對於「脆」與「韌」的表示不直觀，所以我們提出**視覺化方法：體積飛行球**。

肆、研究過程與方法



(1) 倒油與熱鍋：在不同溫度實驗時，每次皆倒入一茶匙橄欖油以及製作三顆爆米花。



(2) 設定標準化程序：先拍攝爆米花原形，再用雙面膠黏在「標準化實驗靶紙」的中心點上，最後放置在脆裂儀下方。



(3) 標準化產生爆米花碎片：一人維持安全，另一人手持懸掛的壺鈴，並使之垂直自由落下壓碎爆米花。



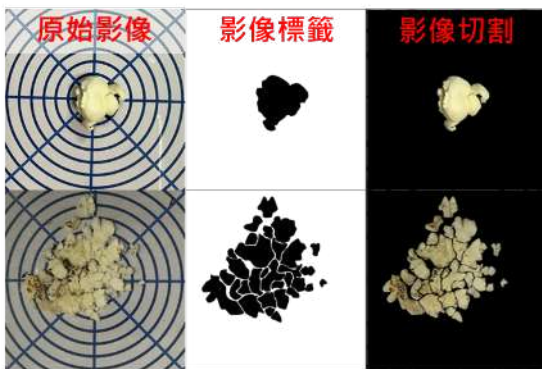
(4) 紀載實驗成果：拍攝爆米花擊碎結果、編號並將投影片紙壓制於碎片上方再存入透明袋中。



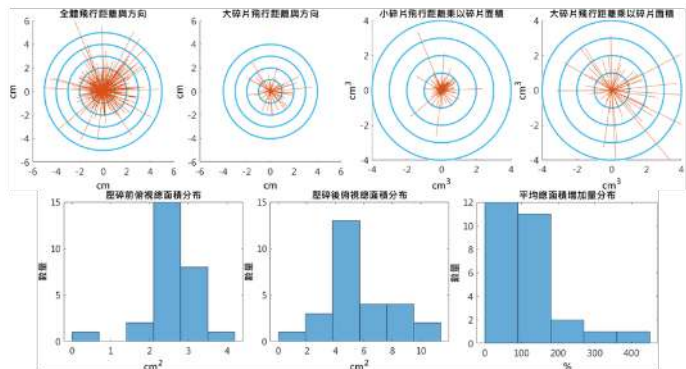
(5) 討論各項實驗結果：討論各種實驗數據，並根據結果修正實驗方法。



(6) 實驗結果保存：大量收集實驗數據，並根據統計成果來描述與證明實驗成效。











(7) 人工智慧方法：使用人工智慧方法來將堆疊的爆米花碎片分離來獲得並計算統計成果。



(8) 視覺化的統計分析：使用人工智慧方法協助將各種類型的實驗數據，如碎片飛行方向、距離、散佈範圍與面積改變量等統計數據以視覺化方法呈現。

伍、研究設備及器材

	名稱		名稱
	卡滋牌爆米花 DIY 玉米粒		爆米花脆裂度測試儀 (含 6.5 公斤壺鈴與木板、童軍繩、安全裝置與課椅改製機械)
	用途		用途
	爆米花製作原料		產生標準化爆米花碎片、碎片脆裂度測試與散佈範圍紀錄
	名稱		名稱
	Apple air 4 平板		鍋子(高 7.5 公分、直徑 16 公分)

	用途 紀錄實驗步驟與成果		用途 製作爆米花
	名稱 電陶爐 (東元 YJ1309CB) 用途 提供恆定溫度加熱玉米粒		名稱 圖釘 用途 將玉米粒尾部戳洞
	名稱 橄欖油(每次實驗油量為一茶匙) 用途 製作爆米花		名稱 A4 自製實驗用靶紙 用途 固定爆米花初始位置、測量爆裂前後的面積與散佈範圍、飛行距離與方向
	名稱 A4 透明板(袋) 用途 保存實驗後爆米花碎片成果		名稱 Colab 與 MATLAB 用途 使用 Colab 建立人工智慧模型、使用 MATLAB 產生視覺化統計成果

陸、研究結果與討論

一、研究目的一：設計產生標準化爆米花碎片與測量的安全自製儀器

(一) 模擬兒童咬合力的數據分析

1. 探討咬合力的目的：

設計出暨安全又能標準化實驗程序的實驗儀器，是讓研究成果可以獲得統計意義與符合科學精神的主要方法。為了設計出一種機械裝置來模擬學齡兒童咀嚼爆米花的動態行為，同時還能標準化產生爆米花碎片的實驗程序，我們決定研究與採用咬合力的數值跟行為特徵，作為設計製作實驗儀器的重要依據。

2. 台灣學齡兒童的咬合力分析：

咬合力是指上下排牙齒相互咬合時所產生的力量，測量單位以牛頓或公斤表示。而針對兒童咬合力的研究在實驗上多以「最大咬合力」作為研究目標，其定義是上下排牙齒盡全力咬緊所產生的力量。因此為了模擬兒童咀嚼的行為，我們必須額外尋找符合咀嚼狀況的咬合力定義。從文獻[9]中，我們知道咬合力有三種不同的定義，如下：

- (1) 吞嚥咬合力：喝水吞嚥時使用的咬合力
- (2) 模擬咀嚼咬合力：模擬咀嚼肉排所施行的咬合力
- (3) 最大咬合力：盡力咬緊所施行的咬合力

但由於吞嚥咬合力與咀嚼無關，而針對咀嚼咬合力的研究，尤其是兒童咀嚼的統計成果又過於稀少，2010 年後台灣僅有兩篇公開研究成果。所以我們改以收集學齡兒童使用大小臼齒以及門齒的最大咬合力取平均值作為實驗中的咬合力數值參數範圍。

我們從文獻[10]中收集 9 至 11 歲學齡兒童的大小臼齒與門齒最大咬合力數值，並同時考慮到文獻[9]所提到的在不同年代中的教養觀念與營養供給所造成兒童咀嚼差異性，所以我們使用文獻[9]與文獻[11]的最大咬合力做基礎再對數據做修正，歸納結果如表三：

表三：9 至 11 歲男女學齡兒童的咬合力統計歸納與修正

年齡	男生 (單位：公斤)			女生 (單位：公斤)			備註
	大白齒	小白齒	門牙	大白齒	小白齒	門牙	
9 歲	右：15.86 左：15.12	右：10.29 左：8.70	5.30	右：10.95 左：10.56	右：4.02 左：3.81	4.53	註 1
10 歲	右：22.21 左：20.80	右：8.71 左：9.27	8.53	右：15.18 左：16.55	右：7.52 左：5.72	7.75	註 2
11 歲	右：21.22 左：19.52	右：11.42 左：10.41	9.01	右：16.86 左：17.18	右：8.80 左：8.19	7.40	註 3
總平均	19.12 (A)	9.80 (C)	7.61	14.55	6.34	6.56	
年代修正	23.50 (B)	12.04 (D)	9.35	17.63	7.69	7.95	註 4
個別平均	14.97			11.09			
整體平均	13.03						

註 1：由文獻[10]得知，該實驗共採取男生 38 位、女生 35 位。

註 2：由文獻[10]得知，該實驗共採取男生 61 位、女生 64 位。

註 3：由文獻[10]得知，該實驗共採取男生 89 位、女生 79 位。

註 4：由文獻[10]得知，到了 2003 年時，台灣的 9-12 歲兒童的大臼齒咬合力已經到達男生 28.10 公斤、女生為 22.23 公斤，皆比總平均高出 7 至 8 公斤。從文獻[9]的描述，我們推論咬合力成長的原因與衛生習慣還有營養攝取改變有關。又另外從文獻[9]得知：7-16 歲兒童青少年的大白齒咬合力平均每年增加 2.3 公斤。所以我們使用以下的方法把總平均結果修正成接近近代兒童的咬合力數值(以 10 歲為基準點)：

$$\text{欄位(B)} = 28.10 - 2.3 \times 2 \quad (\text{即12歲的大臼齒咬合力} - \text{10歲至12歲的數值增加量})$$

$$\text{欄位(D)} = \text{欄位(C)} \times \text{欄位(B)} / \text{欄位(A)} \quad (\text{即使用欄位(A)與(B)對(C)做修正})$$

其他欄位也使用相同方法做修正，所以不再贅述。

為了不模糊這個作品的研究方向，我們沒有將各年齡層、各類牙齒的咬合力數值，還有男女生學齡兒童之間的差異性作為單項的實驗項目，而是用平均值作為設計機械裝置的參考。而表三中的整體平均的數據 13.03 公斤正好略低

於國家地理頻道中，成人咬合力平均值的最小數值：13.6 至 36.7 公斤(請參考文獻[12])，因此這個兒童的咬合力數據應該是在合理的範圍。

在我們接下來的實驗當中，將設計可以標準化產生約 13 公斤的機械裝置。另外又因為人類咬合力是由上下排牙齒相互咬合產生，也就是說單排牙齒產生的力量為整體咬合力的約一半的數值，因此在設計上，我們設定產生力量的單邊機械重量約略為 13 公斤的一半。

(二) 標準化爆米花碎片與測量飛行方向與距離的機械裝置

1. 標準化的機械結構設計：

為了探討出能模擬兒童咀嚼行為與咬合力道的最好機械結構，我們設計並且製造出多種實驗裝置，並討論他們各種的缺點與改良方法，最後再把所有優點歸結在本作品所提出的既安全又有效率的標準化爆米花脆裂度測試儀。圖 1 與表四描述了我們的設計開發過程。

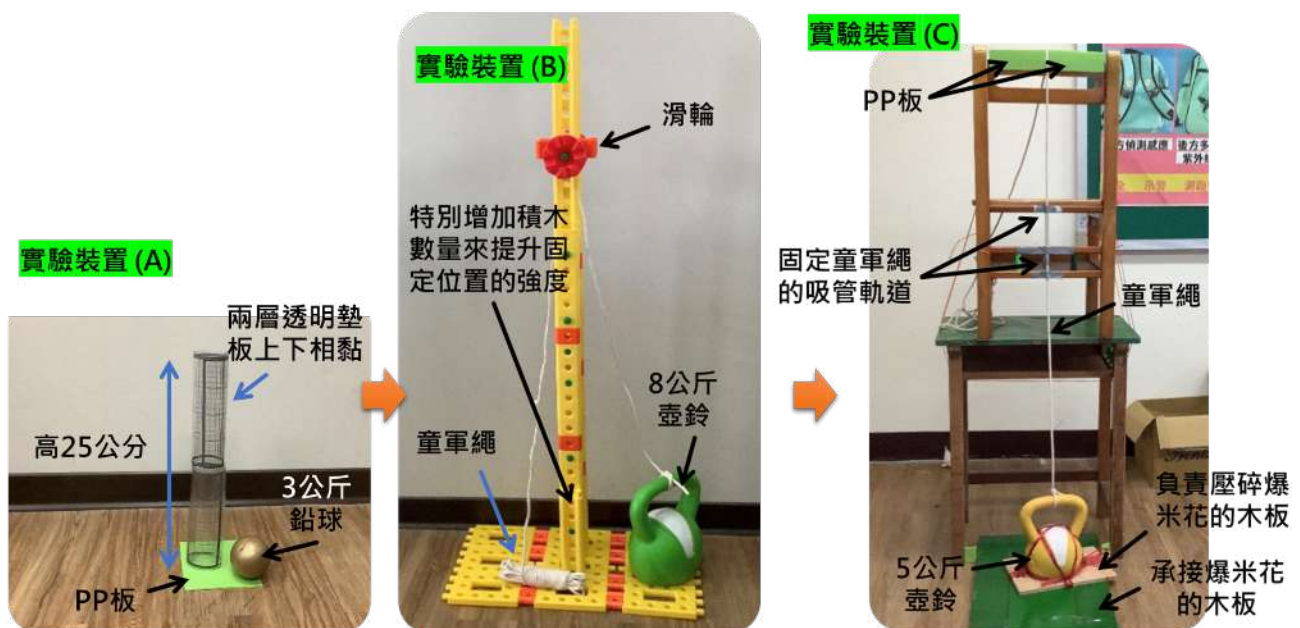


圖 1：實驗裝置的進步過程與外觀變化

表四：圖 1 中的實驗裝置的缺陷與改良分析

	缺點	改良方法
實驗裝置 (A)	圓筒狀透明墊板(也就是鉛球的降落軌道)太軟使得下降的擊中位置容易移動，造成鉛球沒辦法確實壓到爆米花；	改使用繩子跟滑輪便利拉伸，或使用更堅固的材料 (改進降落軌道與擊中點的方法)
	無法固定鉛球下降高度，易受人力影響；	改用繩子跟滑輪將高度提升，且固定一定高度 (改進降落軌道與擊中點的方法)
	若沒有固定爆米花，鉛球向下運動時會產生氣流而將爆米花吹離中心；	使用雙面膠固定爆米花 (標準化結果採集的方法)
	鉛球是圓形的，接觸到爆米花的位置只有一個點，沒辦法完整壓到爆米花；	改用壺鈴與木板增加接觸面積，作為壓碎爆米花的重物 (降落物的形狀改變)
	PP 板太軟加上鉛球又硬又重，爆米花會陷	改用木頭材質製作 (碎片分布範圍需要

	進鉛球砸出的板子凹洞裡，造成每次產生的碎片分布範圍不同。	被規範)
實驗裝置(B)	智高積木做出來的支撐架重量太輕，在操作時容易搖晃	增加智高積木層數，並在實驗操作時由一人壓住底座加強固定 (底座的穩定性)
	智高積木上的滑輪不夠堅固，在將壺鈴抬起時，會將滑輪折斷，導致無法進行實驗	尋找更加堅固的材質進行儀器製作 (軌道的穩定性)
實驗裝置(C)	壓碎爆米花時，會出現大量粉末碎片，無法計算數量；	碎片小於 0.23 平方公分時就不要計算，或是使用其他技術 (利用人工智慧技術)
	計算爆米花碎片大小時，徒手整理會使碎片更碎，而且爆米花用雙面膠固定會沾黏在木板上。	黏大片雙面膠、同時爆米花上下面也黏透明板，砸完後直接拿走透明板，可保存在透明袋中 (標準化的保存方法)

綜合表四獲得的改良方法跟概念，我們利用學校廢棄的課椅，成功的設計開發出如圖 2 所描述的既安全又有效率的標準化脆裂度測試儀：

- (1) 使用重量穩固的課椅，做為測試儀的基礎整體結構；
- (2) 拆掉木頭椅子下方置物區的木板，以及由外往椅背數第 2、3、4 塊坐板；
- (3) 將拆掉的其中一塊坐板，以壺鈴把手寬度作為間距，安裝到座椅上；
- (4) 將三根竹筷水平排列，一邊黏上泡棉膠、另一邊黏上電工膠帶製作出一組「上方軌道」安裝於椅座上，使壺鈴能垂直向上拉起後固定在特定位置與特定高度；
- (5) 使用兩個大小相同的塑膠盒，配合壺鈴下方木板長度，以相同間距黏於椅座下方以製作一組「下方軌道」，使壺鈴能沿著該軌道不偏移的垂直落下，其中的落下高度為 20 公分；
- (6) 使用七根竹筷，採用 2-3-2 的排列方式，以電工膠帶黏貼成六角柱形狀作為「安全裝置」。當壺鈴需要持續抬起時，將此裝置插至壺鈴把手中間的洞，就可以固定壺鈴位置，避免突然落下而誤傷，以保障儀器操作上的安全。

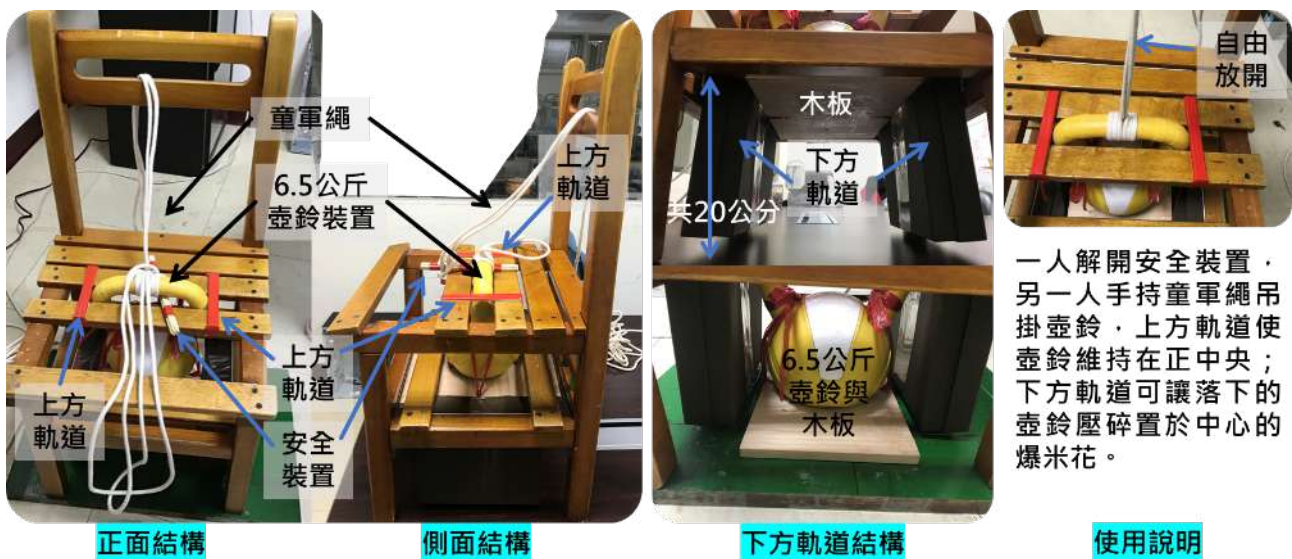


圖 2：本作品設計製作出的安全標準化的脆裂度測試儀的各結構說明

2. 標準化的紀錄碎片飛行方向與距離的觀測靶紙：

我們也從表四的研究中發現，為了能夠有效而且正確的紀錄與觀測爆米花碎片的產生成果，則必須有辦法把爆米花壓碎前的初始位置還有壓碎後的散佈圖形完整地記錄下來，同時還要兼顧之後所需要的統計分析。因此，我們製作發明了一種標準化的觀察碎片飛行方向與距離的靶紙，如圖 3：

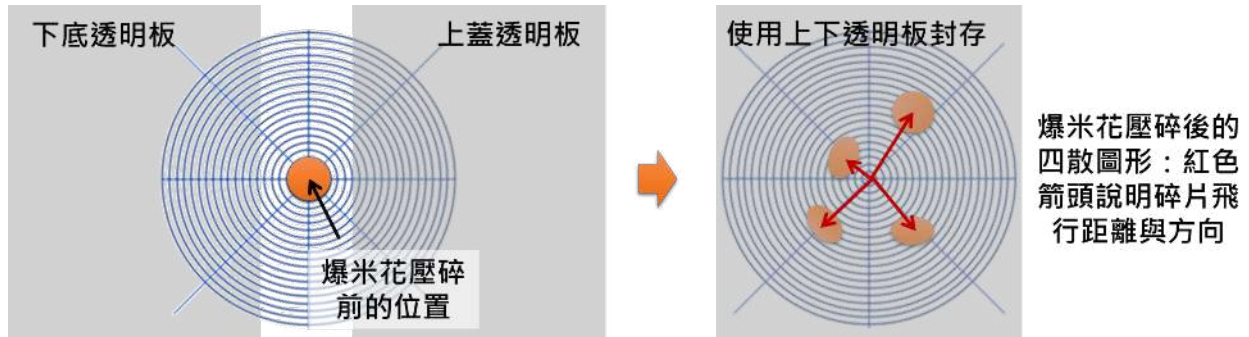


圖 3：標準化的碎片飛行方向與距離紀錄靶紙

因此藉由圖 3 的標準化保存形式，我們就可以針對壓碎、封存前後的爆米花以及對應的碎片影像，進一步的使用人工智慧技術來分析與統計。但是這裡我們也必須說明：雖然本研究應該針對爆米花的體積來執行統計分析，但由於本作品在實驗結果的採集上沒有能力獲得與計算爆米花體積在壓碎前後的各種訊息，所以我們僅針對影像面積以及碎片飛行型態、數量給予實驗與分析。

二、研究目的二：使用人工智慧方法紀錄爆米花碎裂前後影像差距與視覺化統計

(一) 卷積神經網路結構解釋與成果：

1. 收集大量實驗數據做統計分析：

在我們完整的實驗當中，一共產生了 126 組爆米花碎片實驗成果。如果使用人力來分析所有數據，除了可能會有個人認知與實際操作上的差異，也可能無法大量而有效、正確的完整處理所有數據。因此人工的實驗數據處理方式，除了可能發生人為的實驗誤差，也無法有效率地完成研究。而如果採取人工智慧方法，則除了可以使用標準化的步驟來完成實驗成果分析，還可以直接使用程式來獲得視覺化的統計數據。因此有助於標準化的實驗分析與成果的產生。

2. 人工智慧技術與程式說明：

- (1) **U 形神經網路的訓練：**我們使用網路上公開的簡易深度學習網路模型：U 形卷積神經網路模型(來源為文獻[13])，來協助我們獲得爆米花原樣以及碎片影像的辨認與切割的成果。我們根據文獻[13]的教學範例，把 U 形神經網路模型架設在 Google 的 Colab 免費開放平台上面。
- (2) **訓練組跟驗證組：**我們把 126 組壓碎前後的數據，其中的 50%爆米花壓碎前原圖與碎片逐一標記，然後當成模型訓練組，用來產生幫助我們辨認碎片的模型。在這個訓練組中，我們隨機挑選 1/6 作為模型訓練時的驗證組。
- (3) **輸入圖片：**因為 U 形神經網路限制輸入的圖片只能是正方形的，所以我們就把大小設定成 128×128 ；又因為我們的圖片都是彩色的，所以會產生三種通道：(紅、綠、藍)。因此最後的輸入圖片的形狀是(128, 128, 3)。
- (4) **每次訓練組數跟回合數：**模型中每次訓練的組數為訓練組的 1/5，也就是每次訓練時，共有 50%內的 1/6 (也就是 $5/6 \times 1/5 = 1/6$)會取得做模型訓練。

然後回合數設為 25 次，也就是所有的訓練組會被來訓練模型反覆 25 次。

- (5) **優化器**：保留模型範例的原則，使用 Adam 作為優化器來幫忙訓練模型。
- (6) **捲積層與反捲積層**：在我們的捲積層還有反捲積層裡面使用的捲積核(也就是檢查圖形裡面的細節的眼睛)的大小都是 3×3 的。而使用捲積核的原因就是為了幫忙看出圖形裡面所隱藏的各種細節，然後我們要主觀的假定可以看出多少張的細節(例如：64 張或 128 張等)，就可以用這些細節跟它們的組合幫我們辨識跟分割爆米花還有碎片。另外，捲積層可以幫我們獲得圖案的細節，例如：形狀、顏色、強度大小，但是沒辦法知道位置在哪裡。但反捲積層可以幫我們把位置的訊息補回去，所以兩者一起使用就可以同時知道形狀、顏色、強度與位置的訊息細節了。
- (7) **池化層**：池化層(大小都是 2×2 的)可以幫忙我們把圖形變小兩倍，所以一方面可以減少每張圖上面的訓練量，也可以幫我們把比來自上一層還再稍微大的圖形輪廓抓出來給捲積核來看細節。
- (8) **跳躍連結**：這個部分就是在幫忙把捲積層裡面看見的細節(如：形狀、顏色跟強度大小)，還有反捲積層裡面看見的細節(如位置)兩者合併在一起。合併之後還會再通過一次的捲積，把兩者的細節結合成一個整體的資訊。
- (9) **訓練成果**：模型會幫忙我們切割爆米花原始以及碎片的影像，同時也會幫我們汰除燒焦的碎片。我們在模型幫忙切割之後，還會逐一檢查是否有切割正確。主要的 PYTHON 程式碼以及架構分別如圖 4 以及圖 5 的說明。
- (10) **模型正確率與除錯**：從圖 5 中的模型正確率曲線可知道我們所使用的 U 形卷積神經網路的正確率大概是 90% 左右。因此我們在把剩餘的 50% 數據交由模型辨識與分割後，我們也會針對每張的原圖與模型提供的分割輸出答案做詳細對照。雖然也很耗時，但已大幅省下計數碎片、維持碎片圖形等的時間與精神，也大幅降低了實驗誤差與主觀偏差。

```
def build_unet_model():
    inputs = layers.Input(shape=(128, 128, 3))
    f1, p1 = downsample_block(inputs, 64)
    f2, p2 = downsample_block(p1, 128)
    f3, p3 = downsample_block(p2, 256)
    f4, p4 = downsample_block(p3, 512)

    bottleneck = double_conv_block(p4, 1024)

    u6 = upsample_block(bottleneck, f4, 512)
    u7 = upsample_block(u6, f3, 256)
    u8 = upsample_block(u7, f2, 128)
    u9 = upsample_block(u8, f1, 64)

    outputs = layers.Conv2D(3, 1, padding="same", activation = "softmax")(u9)
    unet_model = tf.keras.Model(inputs, outputs, name="U-Net")
    return unet_model

def downsample_block(x, n_filters):
    f = double_conv_block(x, n_filters)
    p = layers.MaxPool2D(2)(f)
    p = layers.Dropout(0.3)(p)
    return f, p

def upsample_block(x, conv_features, n_filters):
    x = layers.Conv2DTranspose(n_filters, 3, 2, padding="same")(x)
    x = layers.concatenate([x, conv_features])
    x = layers.Dropout(0.3)(x)
    x = double_conv_block(x, n_filters)
    return x
```

這裡使用捲積層來辨識圖片中爆米花的碎片形狀跟像素細節，再使用池化層來降低計算量還有結合細節。

這裡使用反捲積層來還原碎片所需要的位置訊息，所以最後U形神經網路可以獲得爆米花的碎片形狀、像素大小還有位置等細節資訊。

圖 4：U 形神經網路的主要程式碼

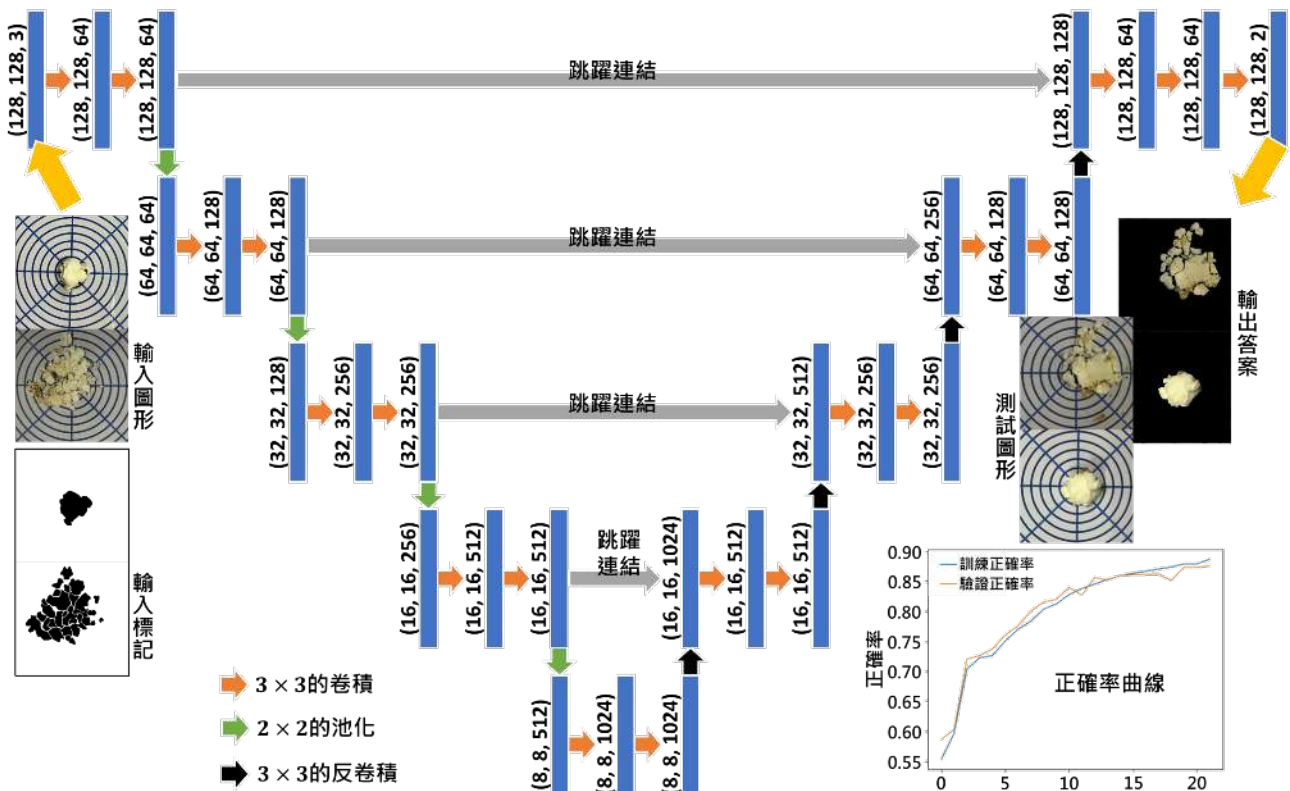


圖 5：U 形卷積神經網路的架構還有模型正確率

(二) 像素長度與物理長度的校正與視覺化統計：

1. 影像與真實世界的長度差異：

我們在研究目的一中設計標準化碎片飛行方向與距離觀測靶紙的時候，設定每條靶線的間距都是 0.5 公分，然後一共有 20 條同心圓還有三條座標線。但在把圖片輸入給 PYTHON 或是 MATLAB 做分割後的影像統計分析時，因為電腦看圖片的單位是「像素」，所以我們還必須進一步確定每個像素長度跟靶紙上面的長度距離之間的關係。這樣的關係確定之後，我們才能從模型分割的結果中知道每個碎片的實際上的飛行距離跟面積大小。

為了較為容易方便確定像素與公分長度之間的換算方式，我們先把所有的影像剪裁成一樣大的正方形(16 公分×16 公分)，同時這個正方形影像也正好符合 U 形神經網路的輸入形狀。接著我們從 MATLAB 上面讀到的圖形邊長是 3275 像素，因此我們可以知道像素與公分長度之間的換算方式：

$$\frac{3275 \text{ 像素}}{16 \text{ 公分}} = 204.6627 \text{ (像素/公分)}$$

所以接下來的研究當中，我們都使用這個轉換數字來幫助我們計算碎片面積與飛行距離的真實面積(平方公分)與長度(公分)。

2. 碎片數量與方向的視覺化統計呈現：

為了產生視覺化的統計分析，我們把在 Colab 上面獲得的且經過我們檢查後的爆米花碎片分割影像輸入到 MATLAB 做進一步的解析。選擇使用 MATLAB 的原因是因為可以在程式環境裡面方便、直接看見每個變數的大小，還有比較多的視覺化方法可供選擇。因此，透過在 Colab 中人工智慧模型的碎片影像切

割，我們得到個別碎片的外觀與位置等資訊，並在 MATLAB 環境裡自動推算出面積、飛行距離等，並可以繪製成統計圖表。而我們透過模型結果計算得出的圖表範例，包含俯視的總面積分佈、飛行距離與方向等視覺化圖形，如圖 6：

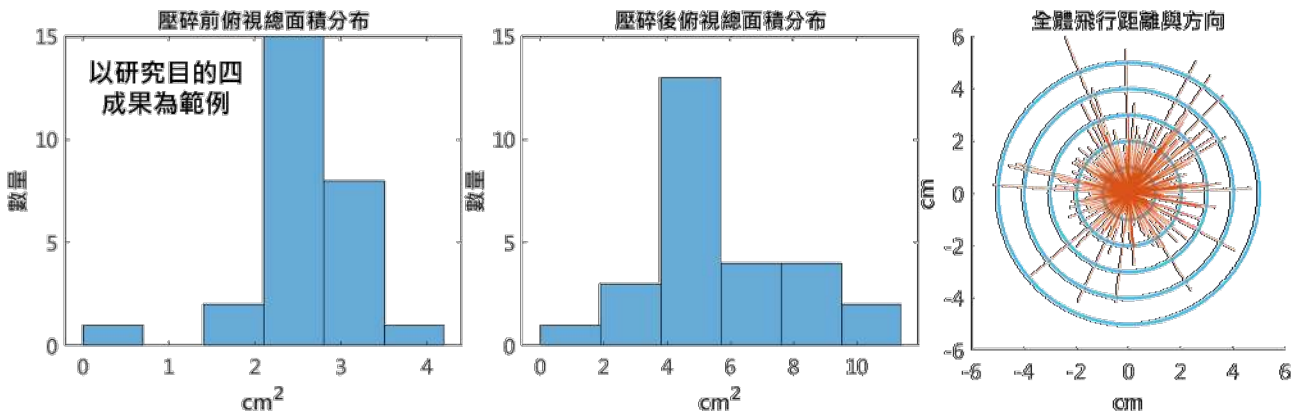


圖 6：研究目的四的視覺化統計成果範例，飛行距離與方向的產生步驟如圖 8 描述

而圖 7 則是說明了計算碎片面積跟飛行方向與距離的程式碼。這裡的碎片面積計算，是單純的使用了上面提到的像素與公分長度之間的換算方式來獲得。但是在計算飛行距離跟畫出飛行方向的視覺化圖形上，我們則是使用了每片碎片的形狀中心以及靶紙原點來幫助計算飛行距離以及判斷方向，如圖 8 的過程。

```

34 CC = bwconncomp(ima);
35 vola.comnum(i) = CC.NumObjects;
36 vola.cen{i} = regionprops(CC,'Centroid');
37 vola.areapiece{i} = cellfun(@numel,CC.PixelIdxList) ./ cofa^2;
38 areapiece = cat(1, areapiece, vola.areapiece{i}');
39
40 for j = 1 : numel(vola.cen{i})
41     temp = sqrt((vola.cen{i}(j).Centroid(1) - CC.ImageSize(1)/2)^2 ...
42             + (vola.cen{i}(j).Centroid(2) - CC.ImageSize(2)/2)^2) ./ cofa;
43     vola.flydis{i,j} = temp;
44     sumdis = sum(temp + sumdis);
45     flydispieceN = cat(1, flydispieceN, temp * (vola.areapiece{i}(j)));
46
47     flyy = [vola.cen{i}(j).Centroid(1) - CC.ImageSize(1)/2, 0]./ cofa;
48     flyx = [vola.cen{i}(j).Centroid(2) - CC.ImageSize(2)/2, 0]./ cofa;
49
50     flyyN = flyy * (vola.areapiece{i}(j));
51     flyxN = flyx * (vola.areapiece{i}(j));
52
53     if vola.areapiece{i}(j) > volb.area(i)*0.25
54         sumdish = sum(temp + sumdish);
55         sumdishn = sumdishn + 1;
56     end

```

第34行 -> 獲得每片碎片的資訊
 第35行 -> 獲得碎片數量
 第36行 -> 獲得碎片的形狀中心位置
 第37行 -> 把平方像素換成平方公分

第41~45行 ->
 以靶紙中心為原點，再以每片碎片的
 形狀中心位置計算飛行距離

第47~48行 ->
 把縱軸跟橫軸的像素換成公分，並獲
 得飛行方向

壓碎前平均俯視總面積：3.25cm² · 標準差：0.42cm²
 壓碎後平均俯視總面積：7.54cm² · 標準差：0.72cm²
 壓碎後平均面積增加率：132.66% · 標準差：8.08%
 全體碎片平均飛行距離：2.0635cm
 大碎片平均飛行距離：0.9335cm

其他統計結果

計算符合「軟韌」口感的碎片數量

圖 7：計算碎片面積跟飛行方向與距離的程式碼

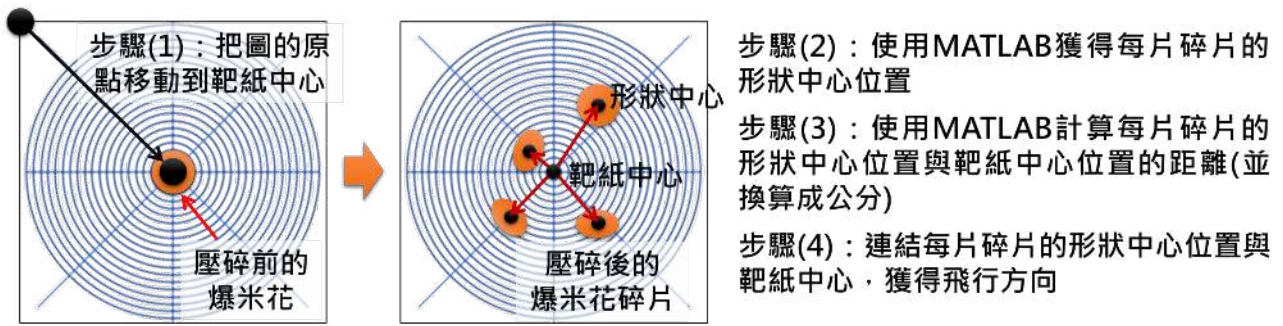


圖 8：判斷每片碎片的飛行距離與方向的步驟

三、研究目的三：不同溫度下的脆裂度、韌性與烹飪時間測試

(一) 實驗設計：

1. 操作變因：

使用具備恆溫效果的電陶爐，並從預熱到爆米花爆開收集結果之間，皆維持在 300 度、400 度、450 度、500 度、550 度、600 度。

2. 控制變因：

加熱用平底鍋、油的體積、電陶爐溫度、玉米粒種類、玉米粒顆數、玉米粒在鍋子中的加熱位置、標準化的爆米花脆裂度測試儀、觀測用靶紙。

3. 應變變因：

造成爆米花爆開的溫度、時間、碎片數量、碎片面積、碎片分布範圍、碎片飛行距離與方向、碎片是否燒焦。

(二) 實驗結果：

這裡的實驗在每個烹飪溫度之下各產生三組實驗數據，而我們把各種關於碎片與原始爆米花的各種統計結果呈現在表五當中：

表五：不同烹飪溫度下的原始爆米花對產生碎片的統計數值結果

溫度	壓碎前平均面積 (cm ²) (A)	壓碎後平均面積 (cm ²) (B)	平均面積增加率 (C)	碎片平均飛行距離 (cm)	平均爆開時間	平均燒焦面積比例
300 度	3.0	4.7	56%	1.2	4 分 48 秒	無
400 度	3.3	7.5	133%	1.1	2 分 21 秒	無
450 度	2.2	4.7	118%	1.2	1 分 10 秒	無
500 度	2.5	5.9	132%	1.5	24 秒	17%
550 度	2.7	5.6	103%	1.9	17 秒	16%
600 度	--	--	--	--	--	直接燒焦

(三) 實驗討論：

1. 平均面積以及面積增加率：

我們利用 PYTHON 人工智慧模型還有 MATLAB 獲得的影像訊息，自動的計算了每次爆米花被壓碎前的面積 (A)、每組壓碎後的碎片總面積 (B)，並得出

每次測試的面積增加率 (C)；公式為：

$$\frac{B - A}{A} \times 100\% = C$$

同時為了方便閱讀，我們另外將各烹飪溫度下的所有的(A)、(B)、(C)數據皆取平均，因此得到了表五的統計數據：爆米花壓碎前的平均面積、壓碎後的碎片平均面積，以及兩者之間所產生的平均面積增加率。後續的研究目的也都會將提供這些統計數據做為參考。另外由於數據之間差異較大，而且我們在研究中無法定義爆米花與碎片的厚度，因此面積增加率可能無法提供實質的比較。

2. 平均燒焦面積比例：

在實驗過程中，我們發現爆米花溫度在 450 度(含)以下時，爆米花不會燒焦。但在 500 度及 550 度的實驗組中，皆有產生碎片燒焦的情況，而 600 度的爆米花則是直接燒焦無法進行後續的測試。由於我們希望獲得口感爽脆且沒有燒焦的爆米花，因此在後續的實驗中，我們優先剔除了會造成燒焦的 500 度、550 度與 600 度三組烹飪溫度實驗參數。

3. 平均爆開時間：

在爆開時間方面，在剔除上述三組參數後，剩餘的組別中 450 度的爆開時間最短；400 度次之；300 度最長。而在考量到大眾在加熱爆米花的時候，都會希望烹飪時間能越短越好，因此我們也排除了時間過長的 300 度與 400 度。因此從口感、外觀與烹飪時間來看，450 度已經擁有指標性的好處。

4. 碎片平均飛行距離：

另一方面，為了瞭解爆米花碎片的飛散情形，我們繪製了在不同烹飪溫度下的碎片飛行距離與方位的平面散佈圖，並將每個碎片都標示出距離和方向(如圖 9 的描述)。由圖 9 的視覺化飛行散佈成果可以發現，450 度的成效有較佳的均勻分布狀況而且明顯碎片量多於其他溫度；因此我們最終選擇 450 度作為後續的爆米花烹飪溫度。

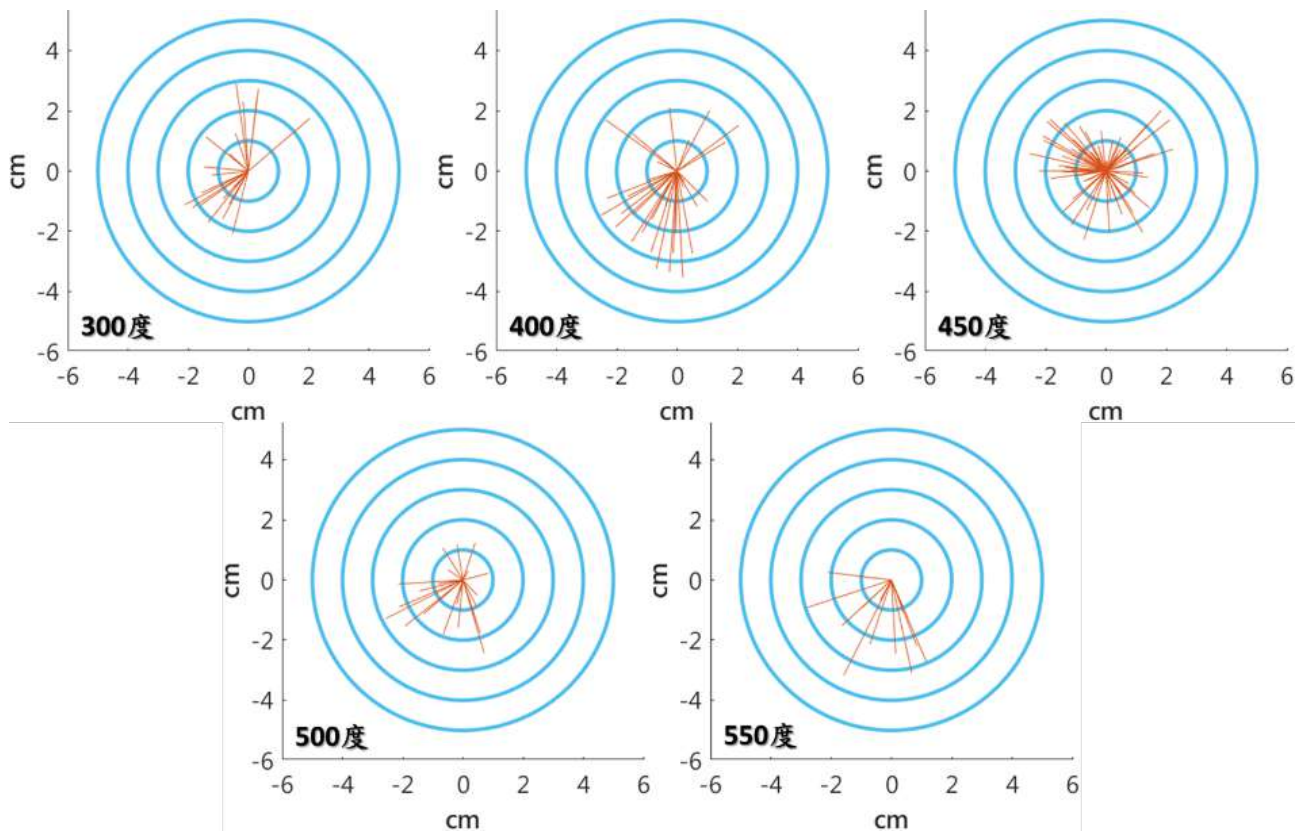


圖 9：在不同烹飪溫度的爆米花碎片飛行距離與方位平面散佈圖

四、 研究目的四：最佳烹飪爆米花溫度的脆裂度與韌性延伸測試

(一) 實驗設計：

1. 操作變因：無
2. 控制變因：

加熱用平底鍋、油的體積、電陶爐溫度、玉米粒種類、玉米粒顆數、玉米粒在鍋子中的加熱位置、標準化的爆米花脆裂度測試儀、觀測用靶紙，以及烹飪溫度(由研究目的三中確定的 450 度)。

3. 應變變因：

爆米花碎片數量、碎片面積、碎片分布範圍、碎片飛行距離與方向、爆米花脆裂度與韌性，以及體積飛行球的產生與使用。

(二) 實驗結果：

表六收集了在固定烹飪溫度為 450 度下的碎片各種統計結果：

表六：烹飪溫度在 450 度時的脆裂度、韌性延伸測試結果

壓碎前平均面積(cm^2)	壓碎後平均面積(cm^2)	平均面積增加率	總體碎片平均飛行距離 (cm)	大碎片平均飛行距離 (cm)
2.5	5.7	126%	1.7	1.2

(三) 實驗討論：

1. 壓碎前後的平均面積：

本目的中共有 27 項實驗數據，因此各項平均面積的分布狀況以及面積增加率的分布情形如圖 10 所表示，其中的統計數據可參考上頁的表六。

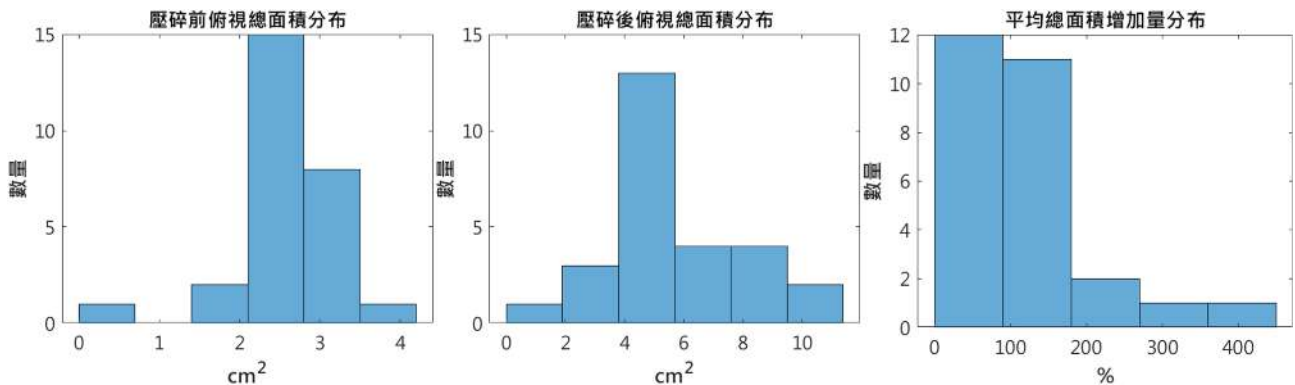


圖 10：固定烹飪溫度在 450 度下的爆米花壓碎前後總面積分佈直方圖

2. 脆裂度分析：

在本實驗中，共產生了 323 片爆米花碎片。其中為了分析爆米花的脆裂度，我們假設爆米花口感較脆的部分相較於整體口感而言應是較硬的、而且能在測試儀操作下彈飛較遠。因此，我們逐步分析了碎片的飛行距離以及碎片的面積大小與數量分布，視覺化成果如圖 11 依序的三張圖：可發現圖中碎片朝各方向分布情形相當均勻，其平均飛行距離為 1.7 公分(如圖 11(a))，且多數為小面積的碎片。所以若一口咬下產生的碎片大致為 0.65 cm²(如圖 11(b))、數量在八片左右(如圖 11(c))且在飛行距離超過 1.7 cm，則應可稱之為「比較脆」，這種情況下的爆米花的口感會更為爽脆，類似於餅乾的口感。

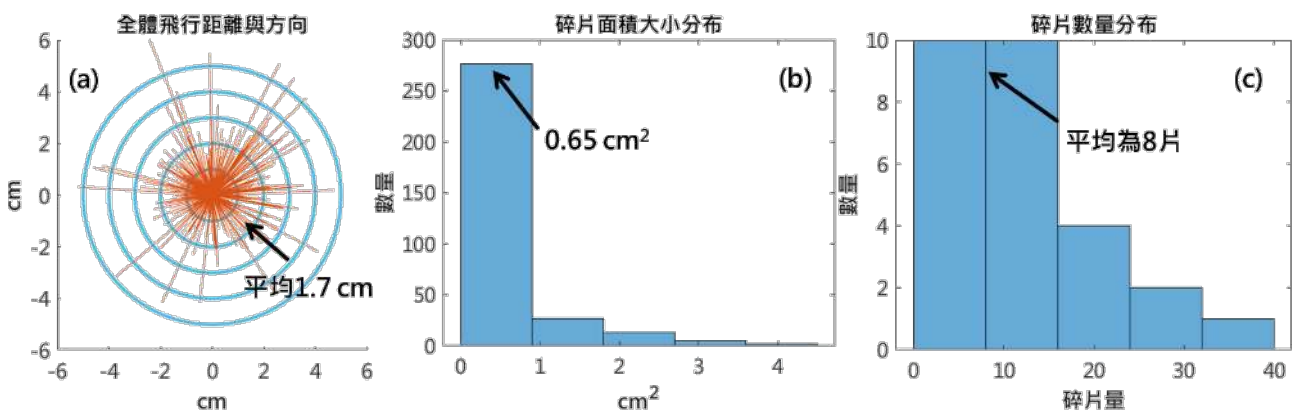


圖 11：固定烹飪溫度 450 度下爆米花碎片飛行距離、方向與碎片面積及數量

3. 韌性分析：

同時為了定義何謂韌性，我們假設在測試儀操作後的爆米花碎片仍然擁有大於原始大小的 25% 的碎片稱為具有韌性；原因是只要具備足夠彈性就可以維持一定的大小。因此我們將全體的碎片當中篩選出大小超過 25% 原始大小的碎片分析其飛行距離，如圖 12 所示，其中大碎片的平均飛行為 1.2 公分。因此，

我們稱若一口咬下產生的碎片大於原始大小的 25%且在口中飛行距離小於 1.2 cm，則為「比較軟韌」，這種情況下的爆米花的口感會更為鬆軟，咬在嘴裡不會馬上破碎，而是會被擠壓成小塊。

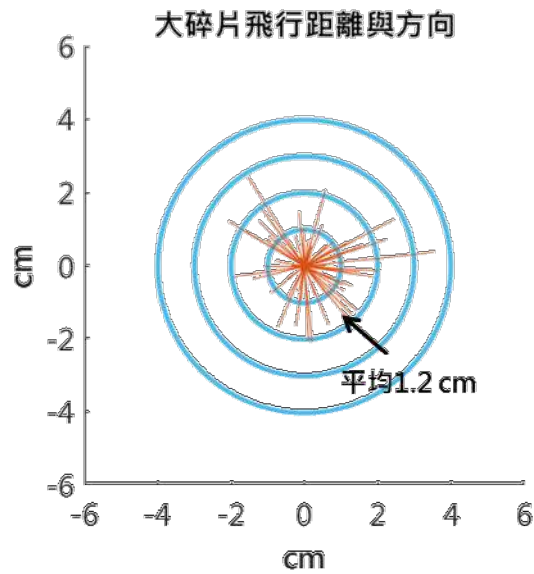






圖 12：固定烹飪溫度 450 度下的爆米花大碎片的飛行距離與方向

最後我們把實驗上獲得的關於脆裂度以及軟韌度分析的統計結果整理於表七並且呈現了兩者的範例分類：

表七：爆米花碎片的脆裂與軟韌口感之比較與整理

口感特性	平均飛行距離	碎片面積	碎片數量
脆 裂	1.7 cm (所有碎片)	0.65 cm ²	< 8 片
	範 例		
			
軟 韌	1.2 cm (大型碎片)	> 原始面積的 25%	--
	範 例		
			

(四) 體積飛行球的介紹與利用：

我們從常理推知：小碎片較輕所以飛得比較遠，而大碎片比較重所以飛得比較近，但是在實驗的過程當中我們卻也發現不少飛不遠的小碎片，或是能飛得遠的大碎片；因此在實驗中所產生的碎片體積、重量以及飛行距離之間一定有關係存在。為了能進一步了解與公平比較碎片大小(體積與重量)與飛行距離之間的關係，和老師討論後，我們採用物理公式中類似動量的概念：將每片碎片的面積乘以該碎片飛行的距離，其中單位變成了體積。體積飛行球的概念如圖 13 的描述：

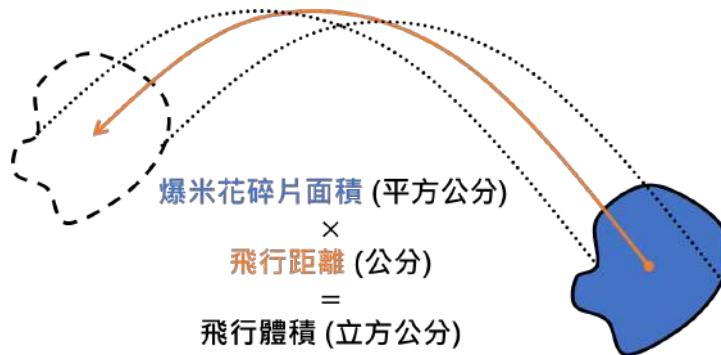


圖 13：體積飛行球的概念說明

而在視覺化的飛行距離圖當中，我們亦特地根據上述表七中整理的脆度與韌度的條件，把全體碎片分成大小碎片兩群，並分開繪圖以便比較。在圖 14(a)中可以發現：小碎片經過上述類似動量的概念處理之後，其強度幾乎都被包含在第一圈體積的範圍之內；反觀大碎片在處理之後獲得的結果卻是幾乎分布在第一圈體積之外，如圖 14(b)。這樣直觀的結果可引領我們使用這個體積飛行球的概念，讓我們能更清楚定義脆與韌之間的關聯性，並給予實質的定義！

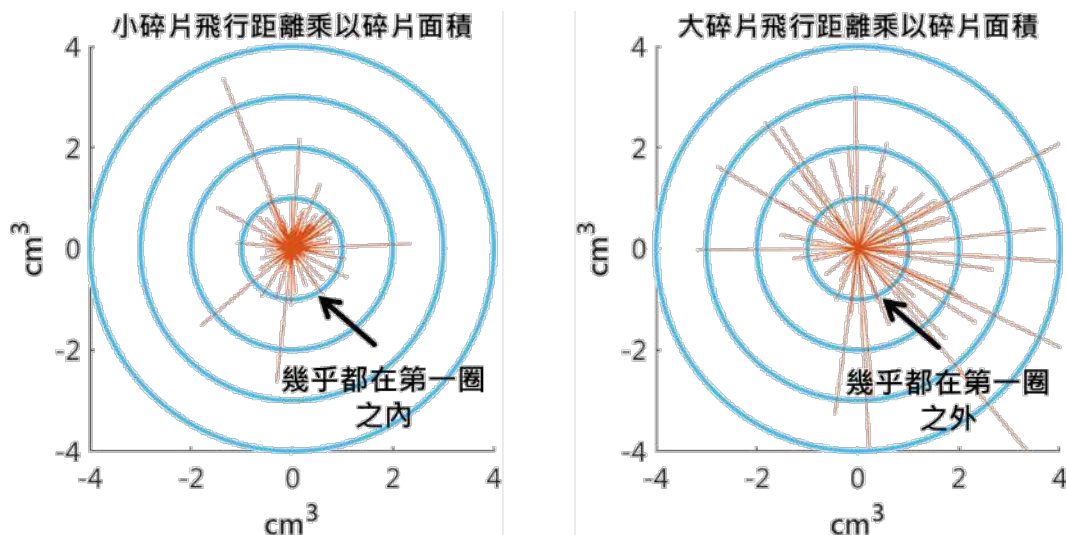


圖 14：溫度 450 度下爆米花大小碎片的體積飛行圖分析

五、研究目的五：不同等待時間脆裂度與韌性測試

(一) 實驗設計：

1. 操作變因：

在 400 度、450 度、500 度、550 度不同烹飪溫度下，當完成爆米花製作後，分別等待 1、3、5 分鐘後再進行壓碎。

2. 控制變因：

加熱用平底鍋、油的體積、電陶爐溫度、玉米粒種類、玉米粒顆數、玉米粒在鍋子中的加熱位置、標準化的爆米花脆裂度測試儀、觀測用靶紙。

3. 應變變因：

爆米花碎片數量、碎片面積、碎片分布範圍、碎片飛行距離與方向、爆米花脆裂度與韌性，以及體積飛行球的產生與使用。

(二) 實驗結果：

表八到表十一分別整理了在 400 度、450 度、500 度、550 度不同烹飪溫度下，爆米花碎片在不同等待時間下的各種統計結果：

表八：溫度 400 度下不同等待時間的壓碎前後面積、飛行距離

400 度	壓碎前平均面積 (cm ²)	壓碎後平均面積 (cm ²)	平均面積增加率	碎片平均飛行距離 (cm)	大碎片飛行距離 (cm)
一分鐘	3.6	8.1	127%	1.7	0.6
三分鐘	3.0	7.0	138%	2.2	1.0
五分鐘	2.8	8.8	211%	1.5	0.6

表九：溫度 450 度下不同等待時間的壓碎前後面積、飛行距離

450 度	壓碎前平均面積 (cm ²)	壓碎後平均面積 (cm ²)	平均面積增加率	碎片平均飛行距離 (cm)	大碎片飛行距離 (cm)
一分鐘	2.2	4.3	106%	1.1	0.9
三分鐘	2.4	6.5	167%	1.6	1.0
五分鐘	3.0	6.9	129%	1.7	1.0

表十：溫度 500 度下不同等待時間的壓碎前後面積、飛行距離

500 度	壓碎前平均面積 (cm ²)	壓碎後平均面積 (cm ²)	平均面積增加率	碎片平均飛行距離 (cm)	大碎片飛行距離 (cm)
一分鐘	2.5	3.7	51%	1.7	0.8
三分鐘	2.6	8.1	214%	1.5	0.9
五分鐘	2.3	5.2	124%	1.2	0.6

表十一：溫度 550 度下不同等待時間的壓碎前後面積、飛行距離

550 度	壓碎前平均面積 (cm ²)	壓碎後平均面積 (cm ²)	平均面積增加率	碎片平均飛行距離 (cm)	大碎片飛行距離 (cm)
一分鐘	1.7	3.9	126%	1.3	0.7
三分鐘	1.6	5.2	215%	1.2	0.8
五分鐘	1.9	6.8	262%	1.3	0.7

(三) 實驗討論：

1. 碎片平均飛行距離：

本言就目的中各溫度且各項目下各有 9 次的實驗測量。其中在飛行距離上可發現 500 度與 550 度(如表十及表十一)雖可在一分鐘內達到本實驗中定義的脆感(即平均飛行距離大於 1.7 公分)，但隨著時間的增加其飛行距離呈現明顯下降，並且大碎片的飛行距離皆小於 1.2 公分，因此可推估隨時間推移，這兩者溫度下的爆米花口感會迅速趨向軟韌。而 450 度烹飪的爆米花則是在 3 分鐘之後逐漸到達口感最佳的程度，推測是由於其中水氣散失所造成。而 400 度烹飪的爆米花則至少在五分鐘之內都可以保有酥脆的口感(如表八)。

2. 體積飛行球的視覺化證明：

為了方便討論，我們將研究目的四中，將碎片面積乘以飛行距離的立體化軌跡稱為「體積飛行球」的概念應用於此(如圖 15、圖 16 及圖 17)。從 400 度結果而言，其碎片量較少，且飛行方向單一；但小碎片的體積飛行球成果幾乎都落在第一圈內符合期待，而大碎片體積飛行球數量過少則不予分析，詳細結果如圖 15 所示。而 450 度的結果可看出碎片量較多且飛行方向較為均勻，同時大小碎片的體積飛行球成果皆符合期待，因此可推估 450 度口感優於 500 度的成果(詳如圖 16)。最後由於 500 度與 550 度在各等待時間的成果類似，因此僅呈現其等待 5 分鐘時候的實驗數據(如圖 16)。由數據可發現其碎片數量極少，且可由小碎片的體積飛行球發現應當存在一個**最小值**，使得當數據低於這個數值時便無法分辨口感的脆與韌；推測應該是過小的碎片所造成！

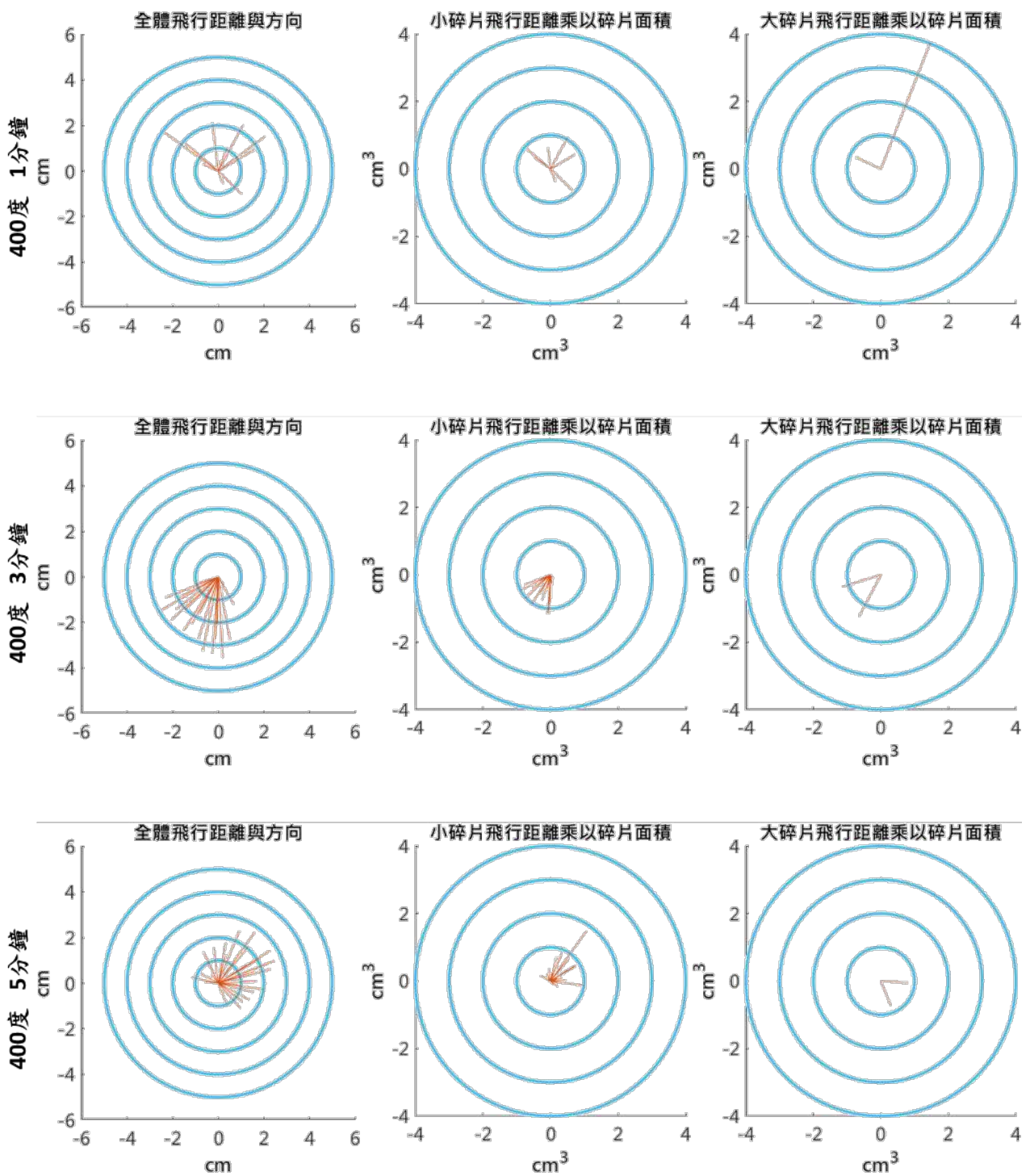


圖 15：溫度 400 度下不同等待時間形成的飛行散佈圖，以及大小碎片對應的體積飛行球

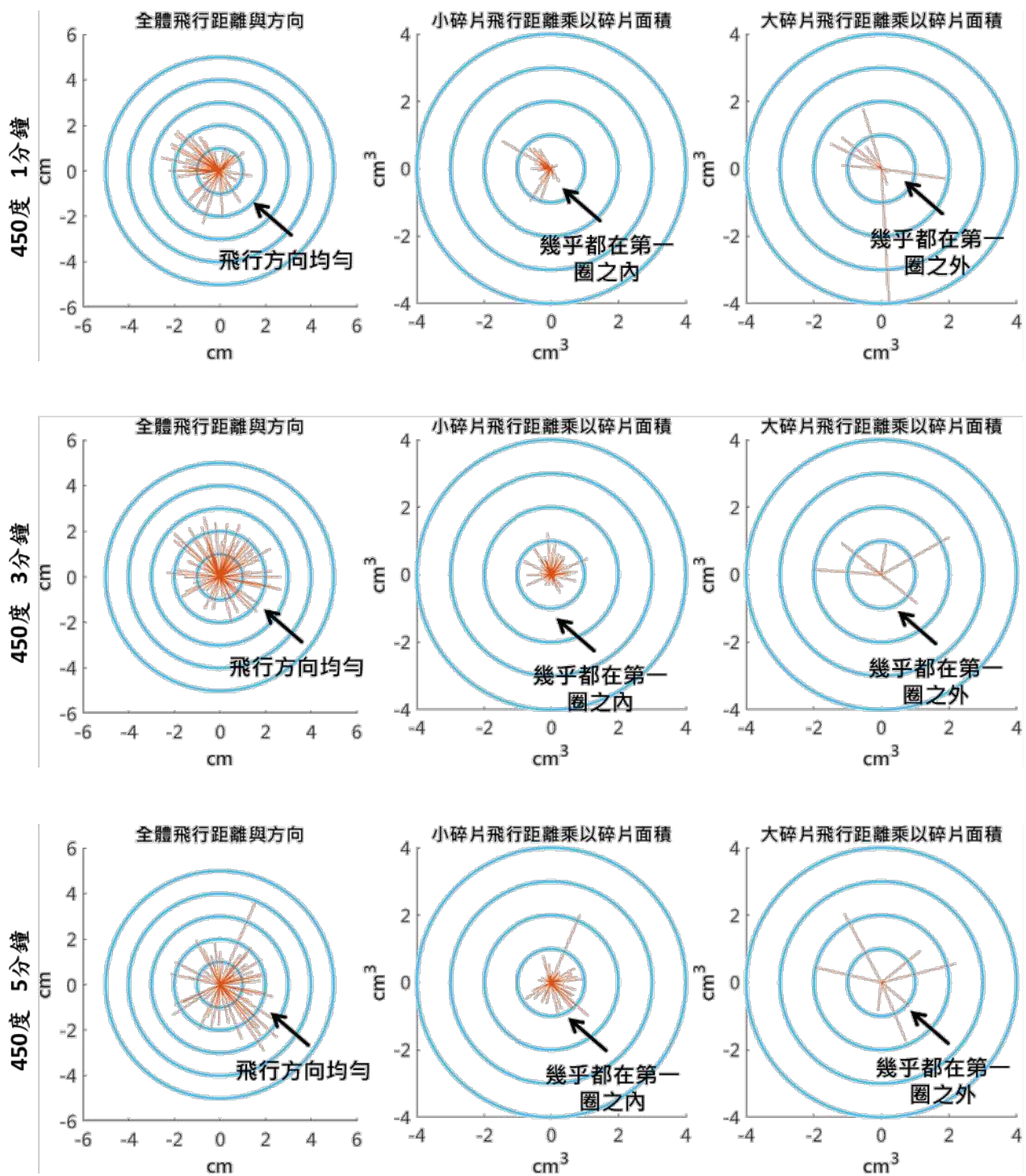


圖 16：溫度 450 度下不同等待時間形成的飛行散佈圖，以及大小碎片對應的體積飛行球

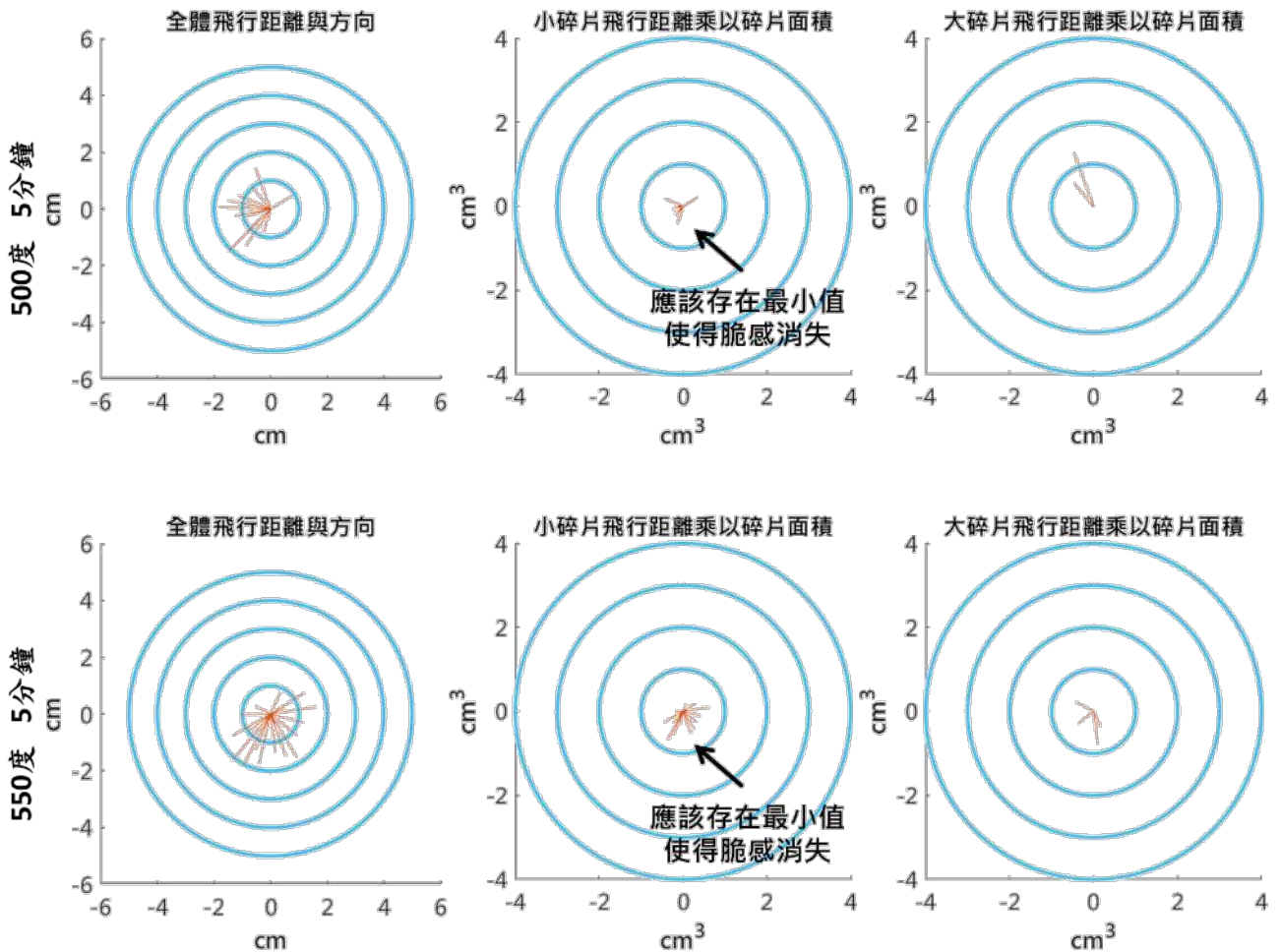


圖 17：溫度 500 度與 550 度下在等待五分鐘後所形成的個別的飛行散佈圖，以及大小碎片所對應的體積飛行球

六、研究目的六：討論玉米粒有孔釋放壓力時，對爆米花的烹飪溫度、爆出時間，以及脆裂度之影響

(一) 實驗設計：

1. 操作變因：

在玉米粒尾部上戳洞，並改變烹飪溫度為 300 度、450 度與 500 度。圖 18 顯示了戳洞的位置：



圖 18：以圖釘在玉米粒上戳洞的位置示意圖

2. 控制變因：

加熱用平底鍋、油的體積、電陶爐溫度、玉米粒種類、玉米粒顆數、玉米粒在鍋子中的加熱位置、標準化的爆米花脆裂度測試儀、觀測用靶紙。

3. 應變變因：

爆米花碎片數量、碎片面積、碎片分布範圍、碎片飛行距離與方向、爆米花脆裂度與韌性，以及體積飛行球的產生與使用。

(二) 實驗結果：

表十二整理了在 300 度、450 度、500 度不同烹飪溫度下，爆米花碎片在不同等待時間下的各種統計結果；同時該表亦增添了表五的內容做為對照：

表十二：以圖釘在玉米粒尾部上戳洞，討論爆米花生在不同溫度下對爆出時間、脆裂度、碎片行為等的影響

溫度	壓碎前平均面積 (cm ²)	壓碎後平均面積 (cm ²)	平均面積增加率	碎片平均飛行距離 (cm)	平均爆開時間	平均燒焦面積比例	備註
300 度	2.5	4.0	68%	1.4	1 分 12 秒	無	
	3.0	4.7	56%	1.2	4 分 48 秒	無	表五
450 度	1.3	4.5	267%	1.1	20 秒	無	
	2.2	4.7	118%	1.2	1 分 10 秒	無	表五
500 度	--	--	--	--	--	直接燒焦	
	2.5	5.9	132%	1.5	24 秒	17%	表五

(三) 實驗討論

1. 平均爆開時間：

為了可以方便比較玉米粒上有無戳洞的實驗差異，我們同時也把目的三的成果(即表五，並使用黃底色標記)列入表十二之中。而從烹飪時間上可清楚地發現，當事先在玉米粒尾部戳洞(位置如圖 18 描述)之後，其平均的爆開時間相較於「研究目的三」的結果有顯著的變短。我們推論是由於熱油可以經由孔洞快速地進入玉米粒內部，使得玉米粒能快速獲得熱能而炸開並讓體積快速膨脹。其中由於 500 度會快速燒焦，故不考慮其數值。

2. 平均面積增加率：

同時我們也可以發現在壓碎前後的面積都有明顯的增加；推測可能是由於熱油更容易經由孔洞而滲入玉米粒內部，使得能量可以比較容易突破玉米粒外殼的壓力，並且能完整有效率地從內部刺激玉米粒的膨脹。

3. 視覺化統計數據：

在視覺化的分析上，我們以 300 度與 450 度烹飪溫度作為研究主角。即分別如圖 19 與圖 20 所描述，從圖 19 與圖 20 (a)可以發現碎片飛行分布，大致如「研究目的四」的結果一樣都為均勻的飛行分布。但從圖 19(b)與(c)以及圖 20(b)與(c)中也都可以發現無論大小碎片的體積飛行球中的數值分布都有隨著溫度增加而縮小範圍的趨勢！

同時再從其碎片面積大小(如圖 19(d)與圖 20(d))以及碎片數量(如圖 19(e)與圖 20(e))的統計分布來看，可以發現其面積大小已經遠小於「研究目的四」所獲的 0.65 平方公分的數倍，而且碎片的數量也遠超過 8 片。因此推論若使用打孔

的方法則會造成碎片數量過多且過小，使得口感比較像是吃小型粉末的感覺！

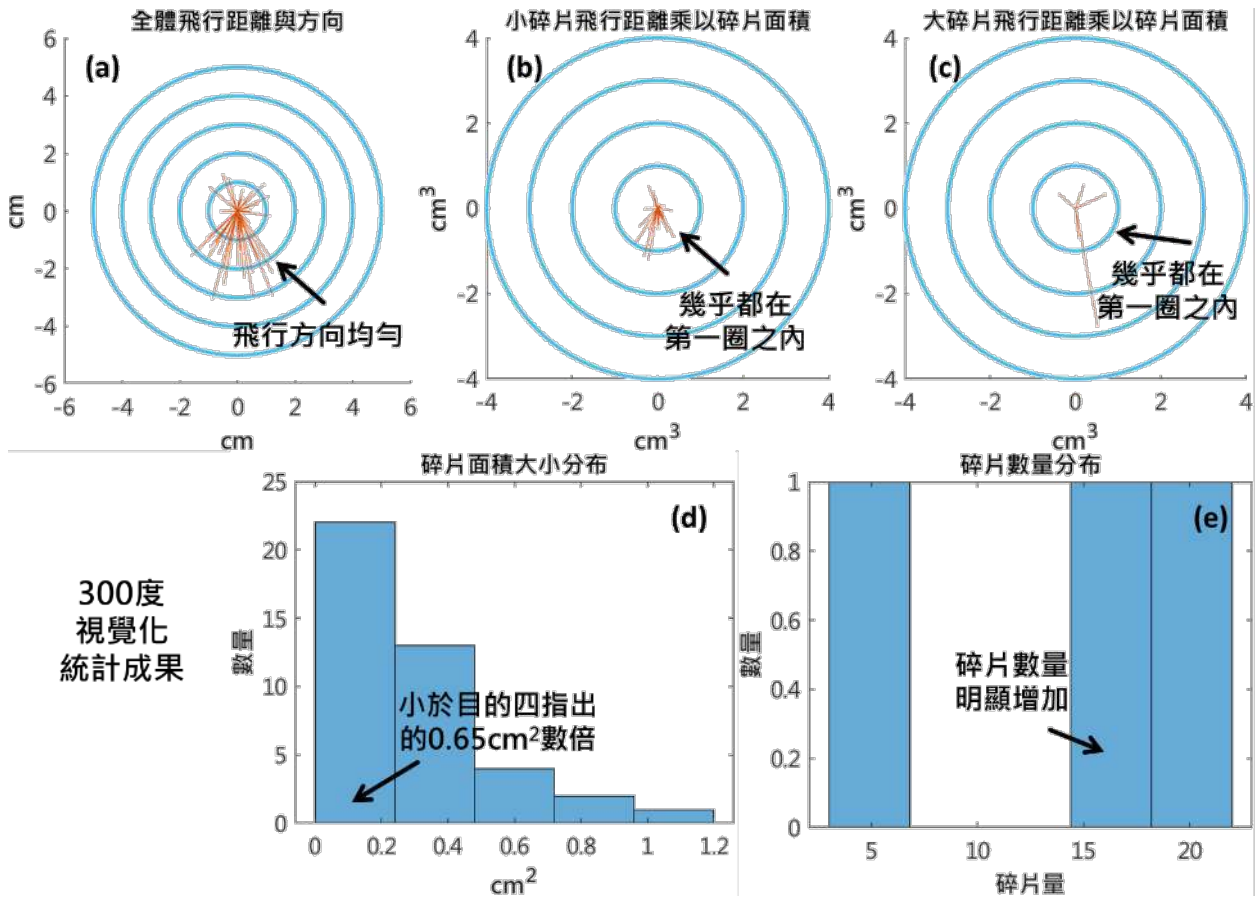


圖 19：溫度 300 度在玉米粒外部戳洞後的視覺統計差異成果

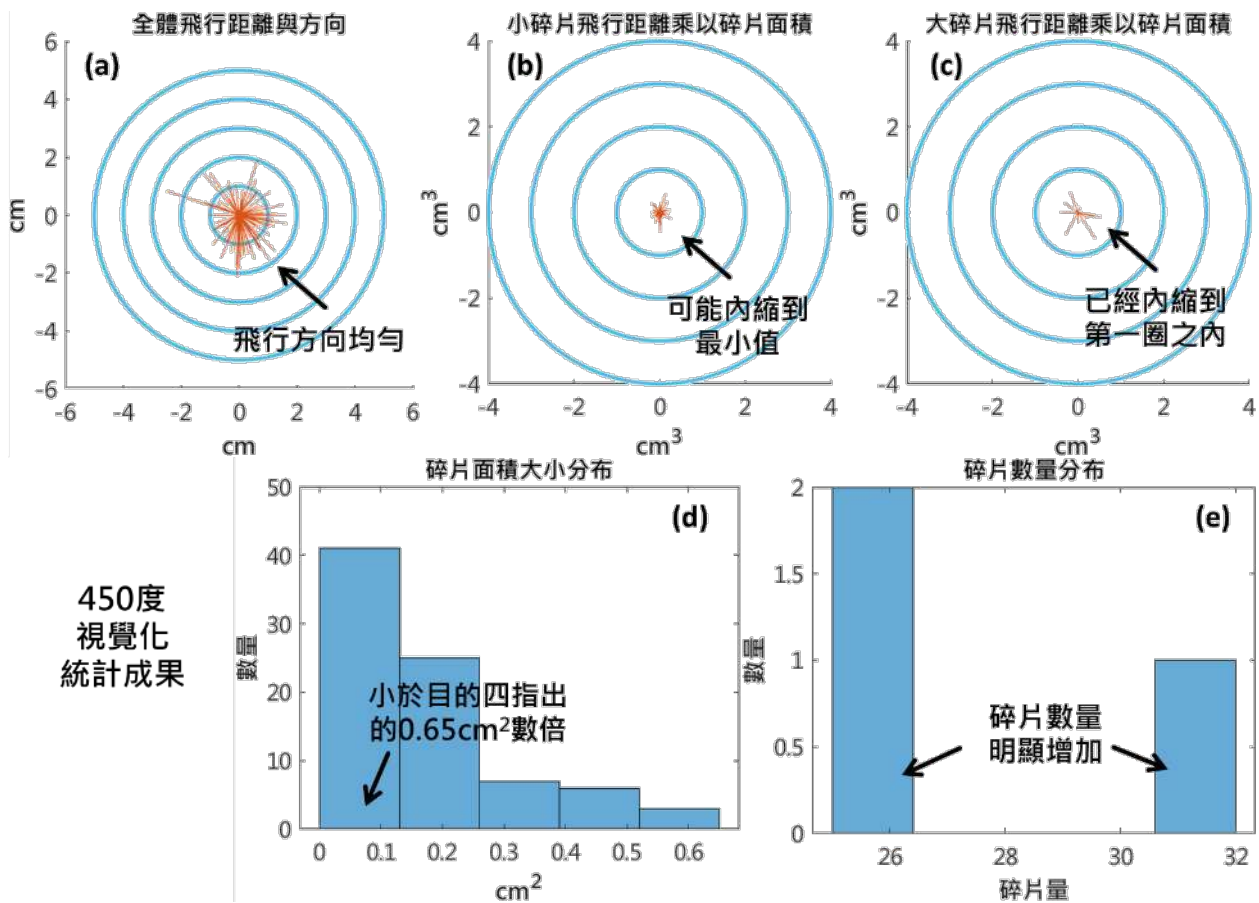


圖 20：溫度 450 度在玉米粒外部戳洞後的視覺統計差異成果

柒、結 論

研究目的一：設計產生標準化爆米花碎片與測量的安全自製儀器

我們經過多方失敗與嘗試，提出了可以在安全又有效率的前提上，實踐標準化測量與紀錄爆米花碎片脆度與韌度的測試儀。其中我們亦使用了自製的實驗靶紙來增加實驗的精準性，以及提供了視覺化碎片的飛行距離與方向的測定方法。同時在我們設計的測試儀上面，除了擁有可以自動校正擊碎目標中心化的上方與下方軌道，我們也設計了安全裝置使得在實驗時不會受到壺鈴的傷害。

研究目的二：使用人工智慧方法紀錄爆米花碎裂前後影像差距與視覺化統計

由於在本實驗裡我們一共產生了 126 組的實驗數據，而且產生的大量、四散的碎片很難以有效率、無誤差的方式使用人工的方式進行統計分析，以及保留原始的爆米花碎片研究成果。因此我們採用了開源的人工智慧技術來協助我們辨認跟切割我們所需要的爆米花原始以及碎片影像。其中，我們經過不斷的測試與訓練，爾後獲得可以幫我們進行碎片影像辨識與切割還有視覺化統計分析成果的人工智慧模型。

研究目的三：不同溫度下的脆裂度、韌性與烹飪時間測試

在測試不同溫度對於爆米花所形成的脆裂度與韌性實驗中，我們發現以 450 攝氏度來熱鍋及製作爆米花，則爆米花會是最脆的。而且等待時間適中，爆米花不會太快爆出也不會出現燒焦的情形。如把溫度提高，爆米花會變得更快爆出、且變得更小，會較具有韌性；又如把溫度降低，等待時間會加長，爆米花玉米粒會不容易爆不開且也可能燒焦，所以之後實驗皆使用 450 度來熱鍋及製作爆米花玉米粒。

研究目的四：最佳烹飪爆米花溫度的脆裂度與韌性延伸測試

在固定使用 450 度作為烹飪溫度後，我們發現如果爆米花碎片朝各方向分布情形相當均勻，而且在口中平均飛行距離大於 1.7 公分，且一口咬下產生的碎片大致是 0.65 cm^2 、而碎片數量為八片左右，則可獲得比較酥脆的口感。反之，若一口咬下產生的碎片大於原始大小的 25%且在口中飛行距離小於 1.2 cm，則能獲得比較軟韌的口感。同時我們在這目的中也發現一種可以用來描述脆與韌的口感差異的「體積飛行球」的工具，當小碎片位於第一圈體積球內，同時大碎片位於第一圈體積球外，則可以同時獲得脆與軟韌的多層次口感！

研究目的五：不同等待時間脆裂度與韌性測試

經由不同等待時間的脆裂度與韌性測試實驗中，我們發現比起爆米花玉米粒剛爆出來就去做測試，等待時間 3 分鐘後壓碎才能獲得最佳的口感；等待 1~2 分鐘再壓會跟剛爆完的沒有差別，而等待超過 3 分鐘再進行壓碎，反而能變得同時具有韌性。而高溫烹飪的爆米花(500 度以上)隨時間推移，其爆米花的口感會迅速趨向軟韌。

研究目的六：討論玉米粒有孔釋放壓力時，對爆米花的烹飪溫度、爆出時間，以及脆裂度之影響

經由以圖釘在玉米粒上戳洞對爆米花成功率、形狀、爆出時間、脆裂度的影響的實驗，我們發現爆米花上有小洞比起原本的爆米花玉米粒，等待時間會更短、更快爆出，但是較為韌性。但從其碎片面積大小以及碎片數量的分布來看，打孔的方法則會造成碎片數量過多且

過小，使得口感較如吃小型粉末的感覺。

捌、參考文獻資料

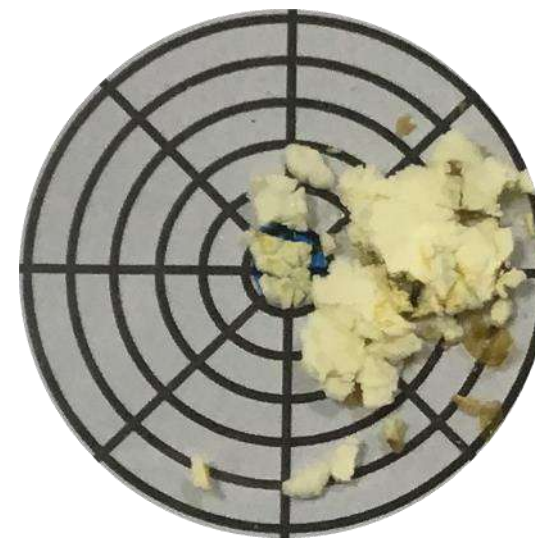
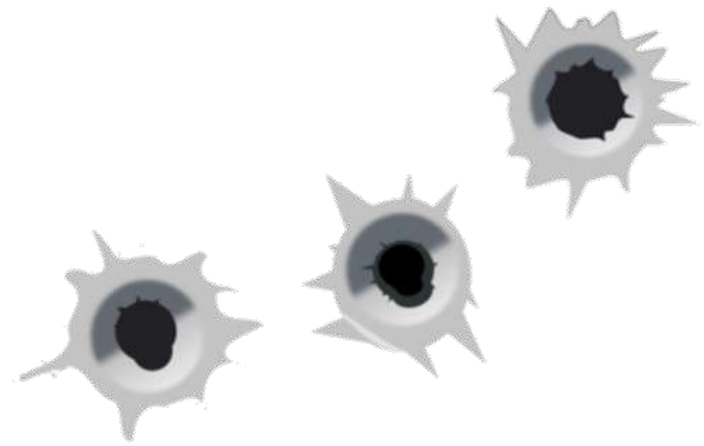
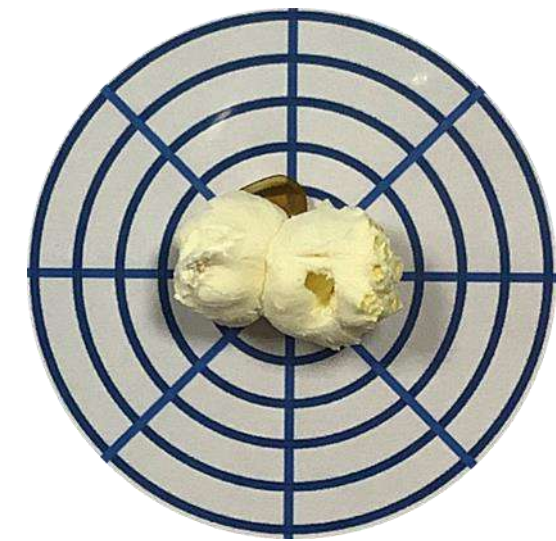
- [1] 東玉環境科技股份有限公司 (2010)。爆米花怎麼爆？。取自：
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000008/detail?ID=75dfd178-4777-4394-8145-a720710dfa89>
- [2] 維洛妮可·格林伍德 (2017)。爆米花是怎麼「爆出來」的？取自：
<https://www.bbc.com/ukchina/trad/vert-fut-39217770>
- [3] 爆編 (2020)。想 DIY 蘑菇爆米花？爆米花 DIY 做法的 3 大失誤！。取自：
<https://www.popsmile.com.tw/zh-TW/blogs/popcorn/46117>
- [4] 民視新聞網 (2022)。啥玉米都可做爆米花？教育部：唯一指定是它。取自：
https://tw.news.yahoo.com/%E5%95%A5%E7%8E%89%E7%B1%B3%E9%83%BD%E5%8F%AF%E5%81%9A%E7%88%86%E7%B1%B3%E8%8A%B1-%E6%95%99%E8%82%B2%E9%83%A8-%E5%94%AF-%E6%8C%87%E5%AE%9A%E6%98%AF%E5%AE%83-022059894.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAMKkSEdmL_SqVw3b2dmCNLV1ZmcLGNBGAcnL6LuWPAfEvkSsnRIZ7QcQ3wAhts8IHYxUY7Y0ku9ZH3H3k2EFom0_ARwuiV1OXLvaL_hI7ja04sXFKkgEb64inO6hY5GZOC5YXkZ-QW8K_oja5piSUM_lhzXvrwqG_TM6dI4dGf
- [5] 宋達理、吳筱翎、張均后、羅又綺(1997)。爆出歡笑來。第 37 屆全國中小學科學展覽作品
- [6] 袁苙芸、徐曄傑、李瑞軒、梁少彥(2009)。爆米花屠龍記。第 49 屆全國中小學科學展覽作品
- [7] 周侑利、趙伯宣、王鼎言、趙昱傑、蘇哲緯(2010)。你溶我濃，特砂請多---糖水溶液對爆米花脆度的影響。第 50 屆全國中小學科學展覽作品
- [8] 陳妍安、金敏婷、黃存忠、黃以薰、阮子曦、陳慧穎(2017)。「米」花朵朵開。第 57 屆全國中小學科學展覽作品
- [9] 蘇靜明，探討學齡前兒童口腔狀況及顏面形態與最大咬合力之關係，高雄醫學大學/口腔醫學院/口腔衛生科學研究所碩士在職專班/碩士論文(2005 年)
- [10] Shiao, Y. Y., Wang, J. S., & Carlsson, G. E. (1993). The Effects of Dental Condition on Hand Strength and Maximum Bite Force. CRANIO®, 11(1), 48-54.
<https://doi.org/10.1080/08869634.1993.11677940>
- [11] 孫國丁，台中市忠孝國小混合齒列學童咬合力之變化及相關影響因素之探討，中國醫藥學院醫學研究所/碩士論文 (2003)
- [12] 國家地理頻道：人類的平均咬合力。取自
https://www.zoo.gov.taipei/News_Content.aspx?n=BD065B2FA7782989&sms=72544237BBE4C5F6&s=92050D85DBC23705
- [13] U 形神經網路模型的解說與模型範例。取自 <https://ithelp.ithome.com.tw/articles/10240314>
註：整份作品中的照片和圖片均為作者親自製作。

【評語】 082807

在這份作品中，學生設計了一系列實驗來探討具「酥脆」與「軟韌」多層次口感的爆米花製作方法，研究過程非常系統化，從設計標準化實驗設備，到利用人工智慧分析數據，再到探討不同溫度、等待時間等變量對爆米花口感的影響，每一步都經過縝密的思考和嚴謹的實驗。特別值得讚賞的是他們自製了標準化的脆裂度測試儀和觀測靶紙，並運用人工智慧技術來分析大量數據，學生在作品中提出的"體積飛行球"概念，為量化和視覺化爆米花口感提供了新的視角，成功找出製作出既脆又韌的爆米花的最佳條件。未來建議加入多人試吃實際評比的數據將更具說服力，惟試吃屬於人類研究範疇，須留意人類研究相關規範。

作品簡報

「爆米花」美學



—以AI探討爆米花脆感測量與提升之研究

摘要

為尋找兼具「酥脆」與「軟韌」多層次口感的爆米花製作方法，我們自製了(1)標準化脆裂度測試儀、(2)觀察碎片飛行方向與距離的標準化靶紙，並使用(3)人工智慧技術與視覺化統計方法，來研製最佳的烹飪流程。實驗中歸納發現以450度作為烹飪溫度時，若一口咬下爆米花所產生的碎片在口中飛行距離約1.7 cm，碎片截面積大致是0.65 cm²、且碎片數量為八片左右，則可獲得較酥脆的口感。反之，若一口咬下的碎片大於原始總面積的25%且在口中飛行約1.2 cm，則能獲得較軟韌的口感。而在這烹飪手法下放置三分鐘再食用，則更能獲得層次豐富、酥脆軟韌交會的口感。實驗中我們還發現了能將「脆」與「韌」的統計差異性視覺化的「體積飛行球」工具，它能幫助我們直接「觀察」到何謂好吃的爆米花！

研究動機

如何烹飪出口感絕佳的優質爆米花

目標

- (1)不會燒焦又有效率的烹飪溫度
- (2)碎片數量、飛行散佈方向與飛散面積
- (3)玉米粒的外觀完整性

方法

- (1)簡易有效且安全的標準化機械結構
- (2)觀測碎片飛行距離跟方向的靶紙
- (3)人工智慧模型與視覺化統計

研究目的

目的一
設計產生標準化爆米花碎片與測量的安全自製儀器

- ✓ 有效率又安全的標準化碎片產生機械裝置
- ✓ 記錄碎片原始位置、飛行距離與方向的靶紙
- ✓ 辨識碎片的人工智慧方法與視覺化統計分析

目的二
使用人工智慧方法紀錄爆米花碎裂前後影像差距與視覺化統計

目的三
不同溫度下的脆裂度、韌性與烹飪時間測試

最佳烹飪溫度

目的四
最佳烹飪爆米花溫度的脆裂度與韌性延伸測試

定義脆韌 & 體積飛行球

目的五
不同等待時間脆裂度與韌性測試

最佳等待時間

目的六
討論玉米粒有孔釋放壓力時，對爆米花的烹飪溫度、爆出時間，以及脆裂度之影響

最佳玉米粒外觀

文獻探討

爆米花產生原因

1. 玉米粒加熱後，內部水份會隨溫度的升高而產生高蒸氣壓。
2. 若蒸氣壓高出9倍大氣壓力並且溫度超過攝氏200度，將使玉米粒外殼超過壓力極限而炸開。
3. 體積將會膨脹到原來的20至40倍。

第37屆科展作品

1. 以廢物利用的觀點，設計與產生了簡易又能安全製作爆米花的實驗裝置：開心瓶。
2. 觀察與紀錄了玉米粒逐漸轉變成爆米花的過程，包含外觀、聲音與軟硬程度。

第49屆科展作品

1. 提出與驗證了爆米花可以用來取代保麗龍。
2. 針對爆米花與保麗龍在各種物理條件上，如：隔音、耐摔、耐壓、耐撞、保溫等各種相關能力的實驗與比較，證實爆米花在適當條件下可以取代保麗龍。

第50屆科展作品

1. 本作品發現糖水濃度與溫度，對脆度有極大影響。
2. 同時本作品也提出了可以計算爆米花脆度的公式：
爆米花脆度 = (極小碎片數量*4) + (小碎片數量*3) + (中碎片數量*2) + (大碎片數量*1)

第57屆科展作品

1. 研究玉米粒爆開前後的物理變化，並討論外觀缺損以及不同糖類與濃度是否會改變爆米花形狀與脆度。
2. 使用第50屆科展作品定義的爆米花脆度公式與爆米花碎片大小的定義，並有自製的脆裂測試儀器。

我們的想法整理跟延伸研究

1. 烹飪過程與碎片形成方法都會大幅影響口感特性，故須設計標準化的碎片產生儀器與碎片的觀測工具與方法。
2. 因為爆米花碎片形狀與大小千變萬化，所以必須使用統計方法來歸納結果，並且還能簡易的視覺化說明成果。
3. 碎片的處理耗時費力且可能會在計數碎片的時候受到影響，所以我們使用人工智慧方法。
4. 碎片形狀與大小已經被多次研究，我們應該還能把注意放在碎片飛行的距離與方向。
5. 除了定義口感的「脆裂度」，爆米花也還存在「軟韌」的口感也需要被研究，而且也存在酥脆軟韌交會的口感。
6. 統計圖表對於「脆」與「韌」的表示不直觀，所以我們提出視覺化方法：體積飛行球。

研究步驟



(1) 倒油與熱鍋：在不同溫度實驗時，每次皆倒入一茶匙橄欖油以及製作三顆爆米花。



(2) 設定標準化程序：先拍攝爆米花原形，再用雙面膠黏在「標準化實驗靶紙」的中心點上，最後放置在脆裂儀下方。



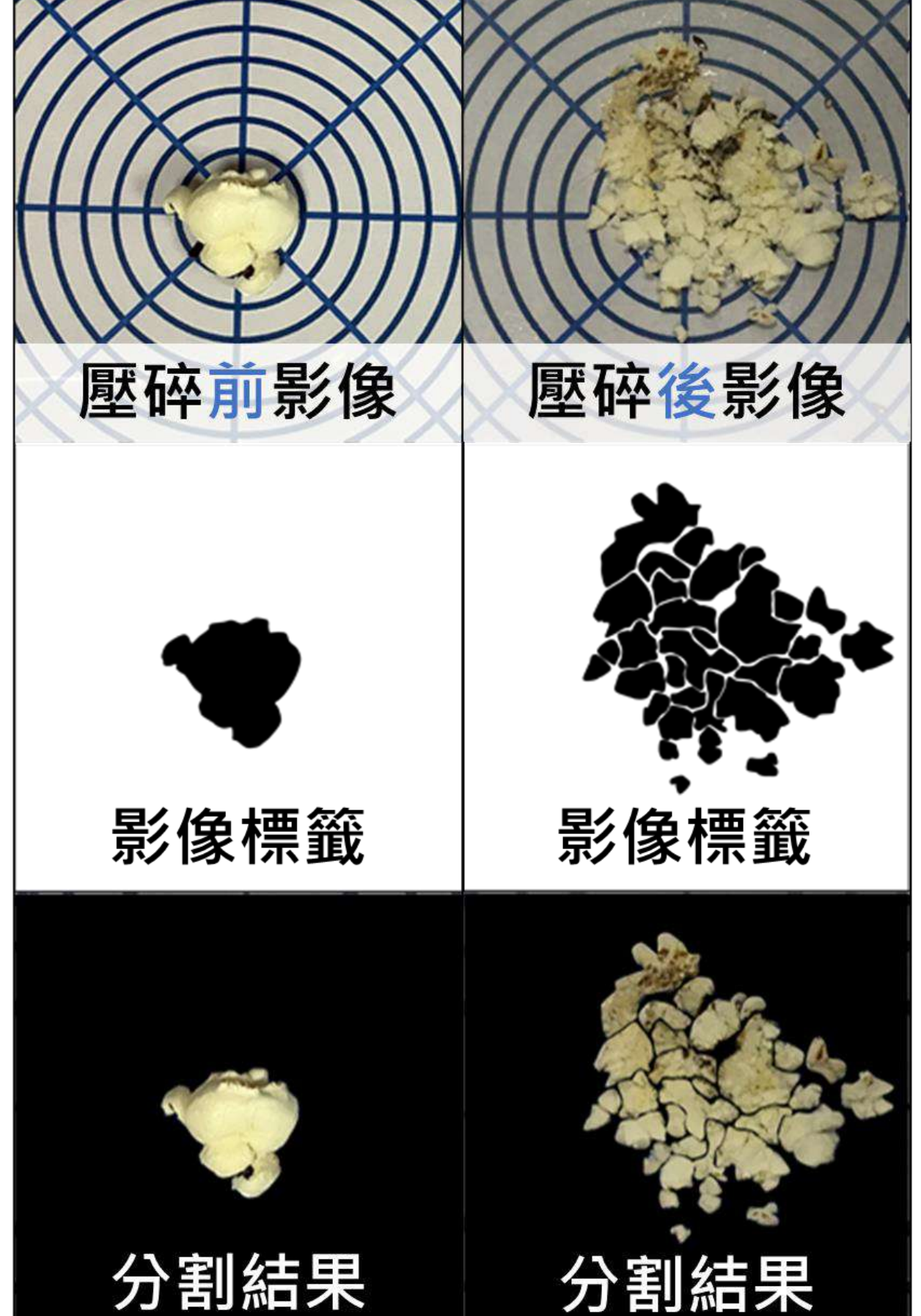
(3) 標準化產生爆米花碎片：一人維持安全，另一人手持懸掛的壺鈴，並使之垂直自由落下壓碎爆米花。



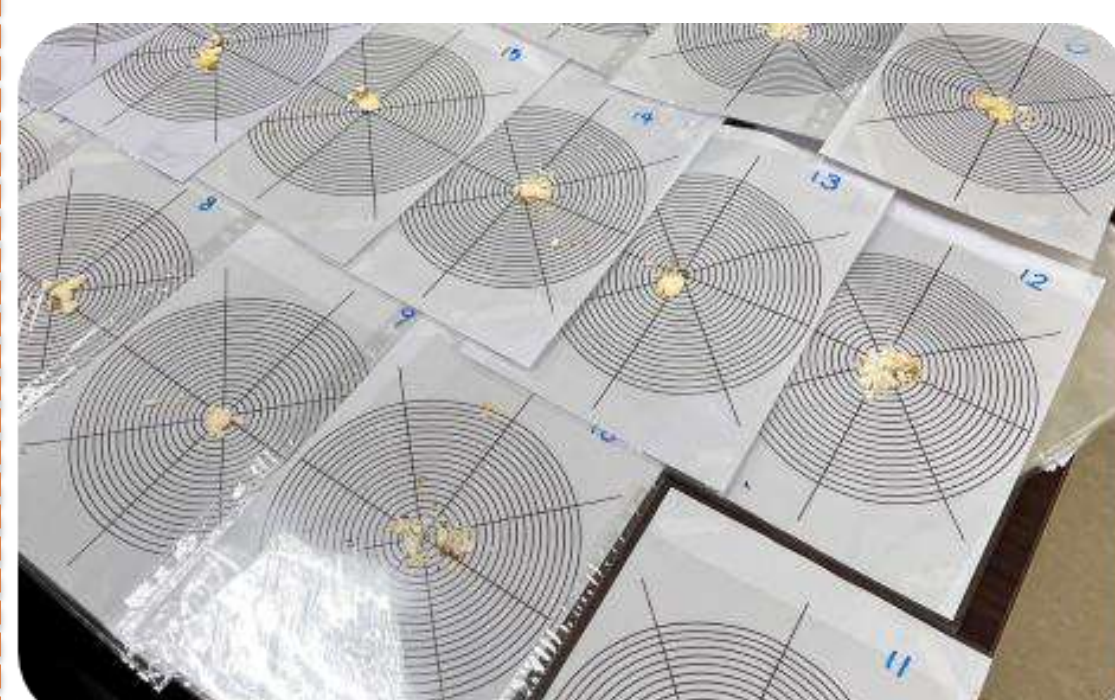
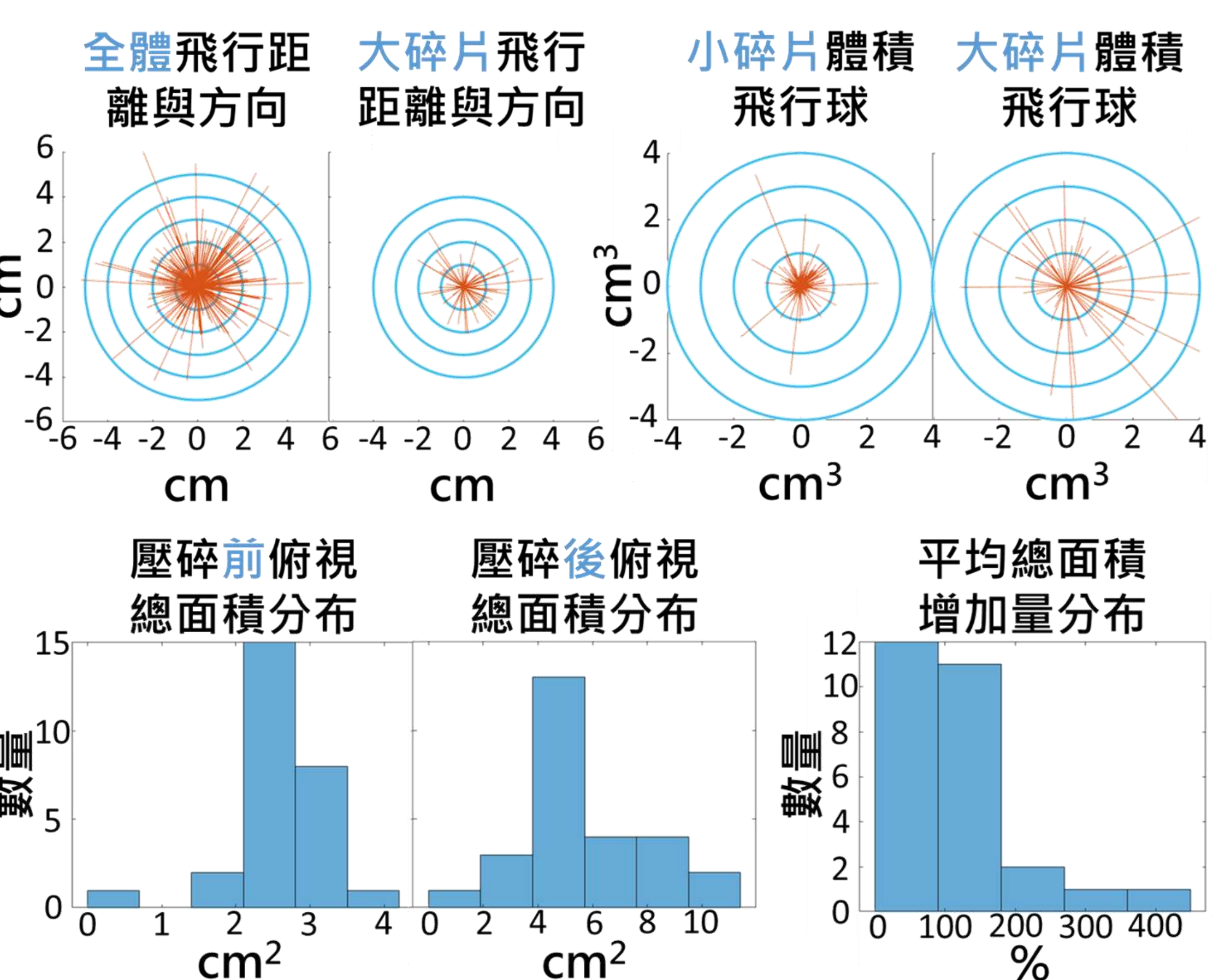
(4) 記載實驗成果：拍攝爆米花擊碎結果、編號並將投影片紙壓製於碎片上方再存入透明袋中。



(5) 討論各項實驗結果：討論各種實驗數據，並根據結果修正實驗方法。



(7) 人工智慧方法：使用人工智慧方法來將堆疊的爆米花碎片分離來獲得壓碎後的飛行距離與方向並計算統計成果。



(6) 實驗結果保存：大量收集實驗數據，並根據統計成果來描述與證明實驗成效。

(8) 視覺化的統計分析：使用人工智慧方法協助將各種類型的實驗數據，如碎片飛行方向、距離、散佈範圍與面積改變量等統計數據以視覺化方法呈現。

目的一：設計產生標準化爆米花碎片與測量的安全自製儀器

(1) 模擬兒童咬合力的數據分析

年齡	男生(單位:公斤)			女生(單位:公斤)			備註
	大白齒	小白齒	門牙	大白齒	小白齒	門牙	
9歲	右: 15.86 左: 15.12	右: 10.29 左: 8.70	5.3	右: 10.95 左: 10.56	右: 4.02 左: 3.81	4.53	男生38位 女生35位
10歲	右: 22.21 左: 20.80	右: 8.71 左: 9.27	8.53	右: 15.18 左: 16.55	右: 7.52 左: 5.72	7.75	男生61位 女生64位
11歲	右: 21.22 左: 19.52	右: 11.42 左: 10.41	9.01	右: 16.86 左: 17.18	右: 8.80 左: 8.19	7.40	男生89位 女生79位
總平均	19.12 (A)	9.80 (C)	7.61	14.55	6.34	6.56	
年代修正	23.50 (B)	12.04 (D)	9.35	17.63	7.69	7.95	
個別平均	14.97			11.09			註
整體平均	13.03						

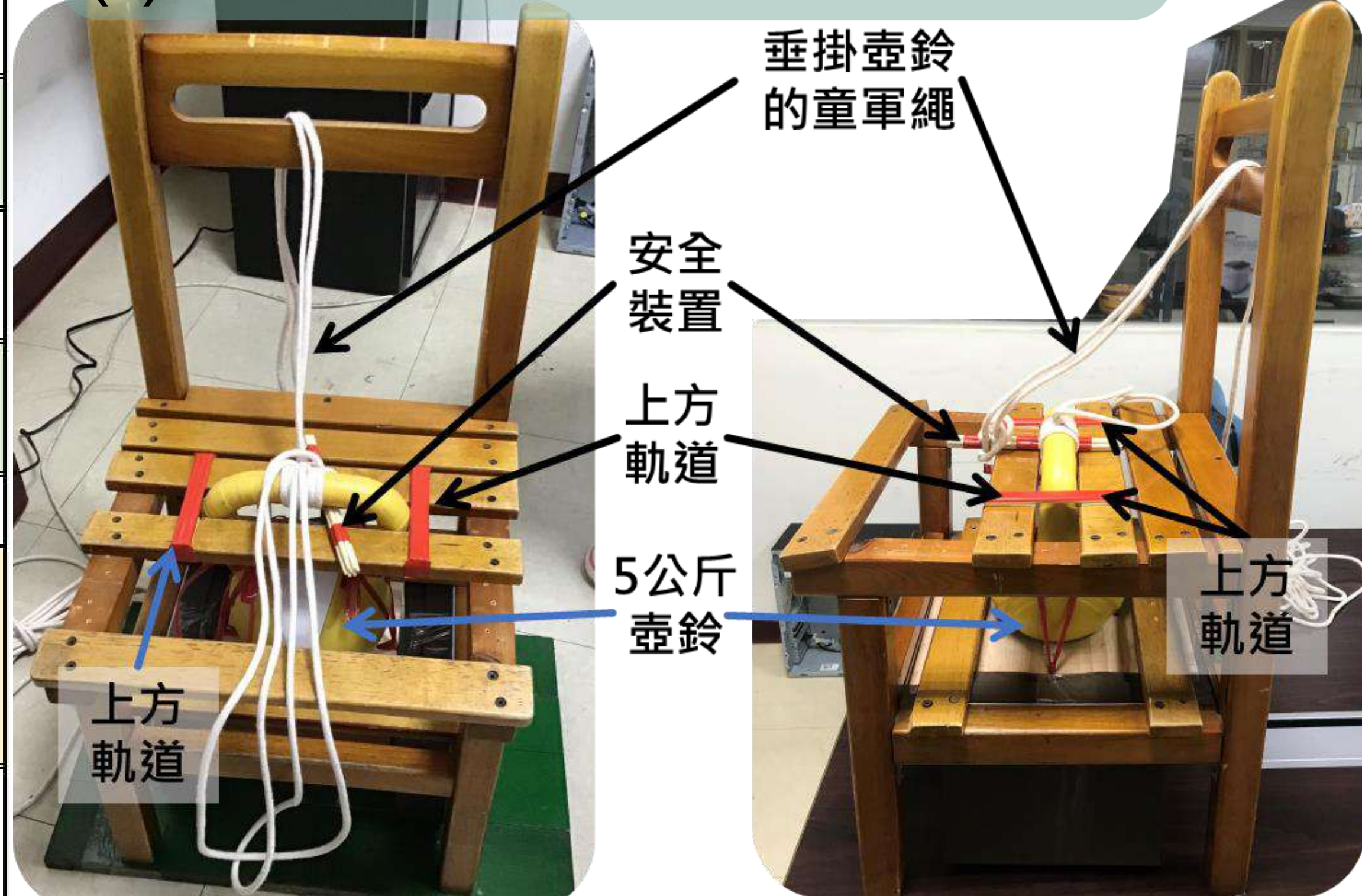
衛生習慣與營養攝取的年代修正：

欄位(B) = 28.10 - 2.3 × 2 (12歲的大白齒咬合力 - 10歲至12歲的數值增加量)

欄位(D) = 欄位(C) × 欄位(B) / 欄位(A) (即使用欄位(A)與(B)對(C)做修正)



(2) 使用國小課椅自製的標準化脆裂測試儀

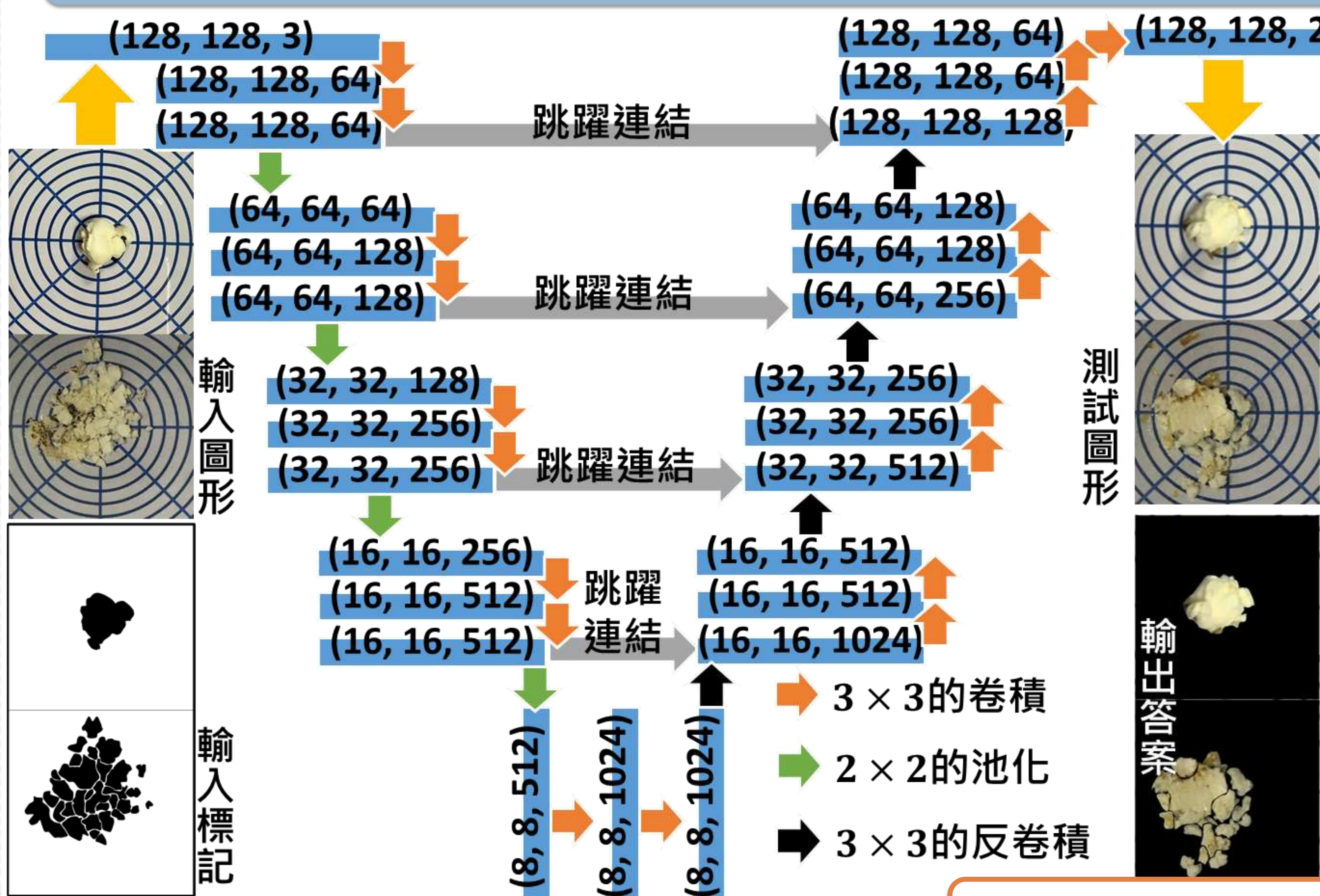


✓ 脆裂測試儀造成的咬合力：

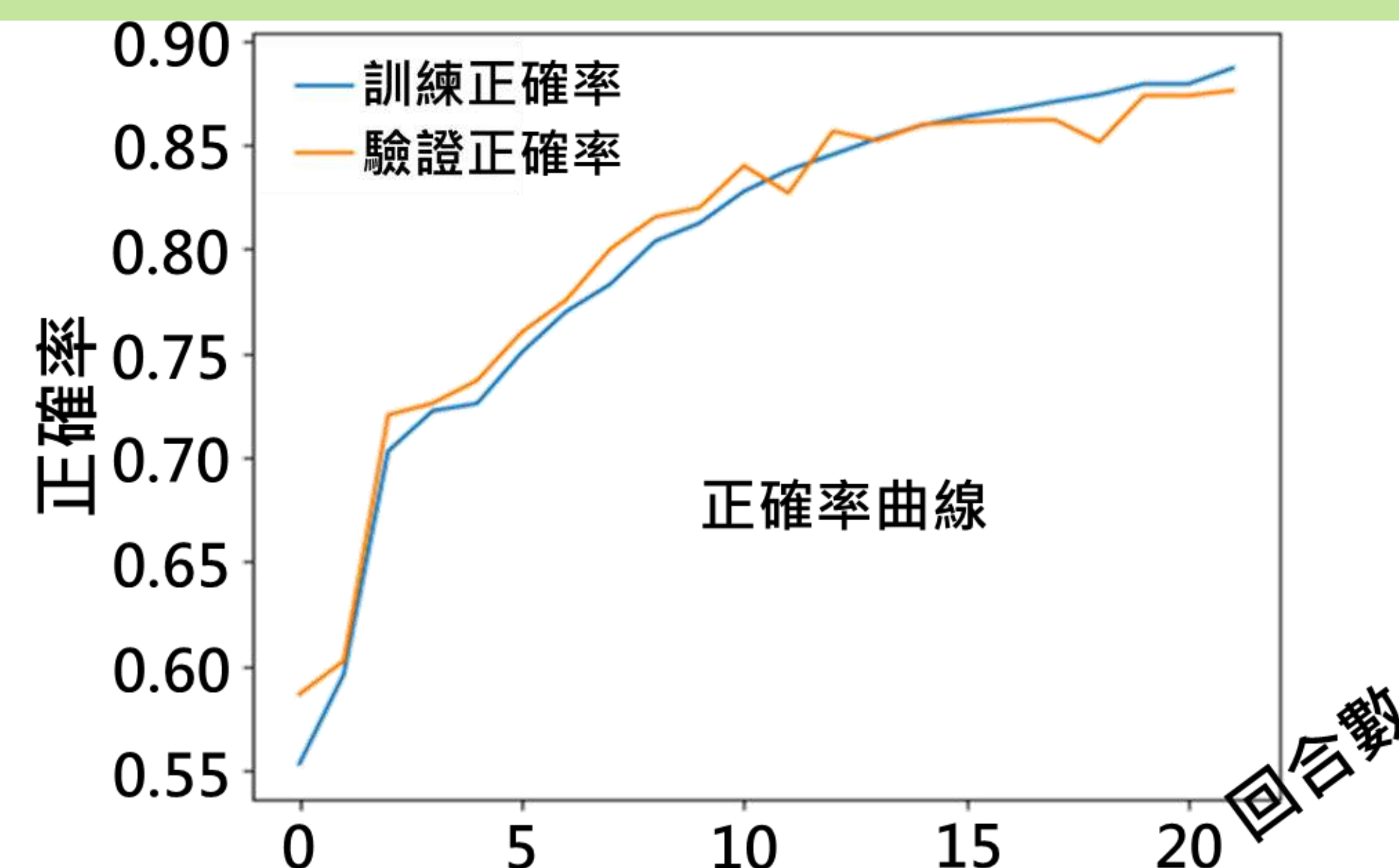
$$\text{咬合力} = \frac{2 \times \text{質量} \times \text{末速度}}{\text{落下時間} \times \text{重力加速度}} = \frac{2 \times 6.2 \times 2}{0.2 \times 9.8} \approx 12.7 \text{ (kg)}$$

目的結論：我們自製的標準化脆裂測試儀產生的爆米花咬碎力道，與學齡兒童的咬合力大小類似，故可模擬吃爆米花的情形。

目的二：使用人工智慧方法紀錄爆米花碎裂前後影像差距與視覺化統計



- ✓ 使用網路上公開的U-Net捲積神經網路模型。
- ✓ 把126組數據其中的50%的爆米花原圖與碎片逐一標記作為訓練組，用來產生辨認碎片的模型。
- ✓ 在模型切割完成後，逐一檢查是否切割正確。



目的二結論：人工智慧模型能順利地幫助我們完成大量的數據統計分析，並可以讓我們把數據視覺化幫助我們釐清科學問題還有開發想像空間。

目的三：不同溫度下的脆裂度、韌性與烹飪時間測試

溫度 (°C)	壓碎前平均面積 (cm ²)	壓碎後平均面積 (cm ²)	平均面積增加率	碎片平均飛行距離 (cm)	平均爆開時間	平均燒焦面積比例
300	3.0	4.7	56%	1.2	4分48秒	無
400	3.3	7.5	133%	1.1	2分21秒	無
450	2.2	4.7	118%	1.2	1分10秒	無
500	2.5	5.9	132%	1.5	24秒	17%
550	2.7	5.6	103%	1.9	17秒	16%
600	--	--	--	--	--	直接燒焦

1. 平均面積：人工智慧方法提供壓碎前(A)與壓碎後的平均面積(B)，並求得平均面積增加率(C)： $(B - A) \div A \times 100\% = C\%$ 。

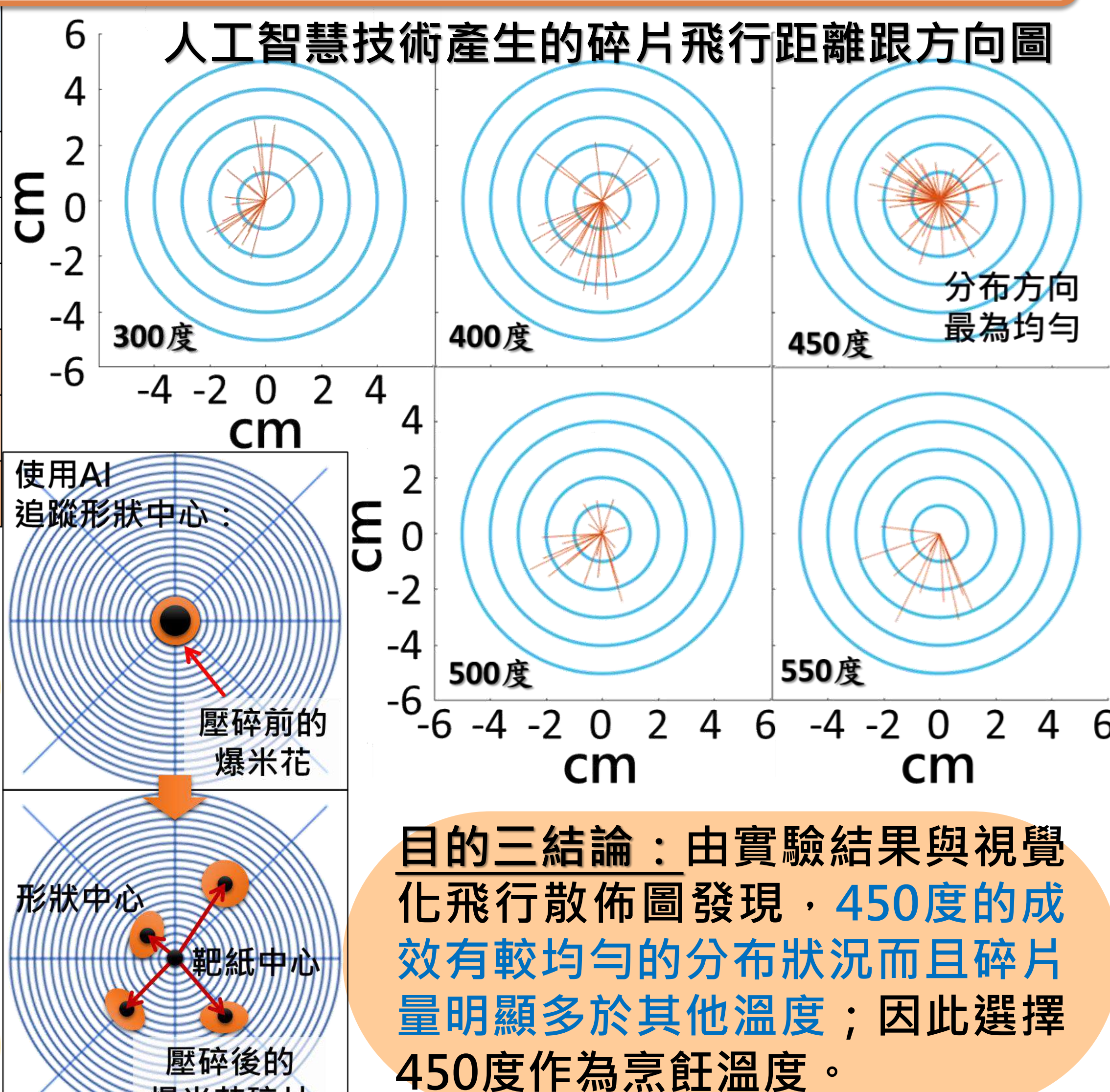
小結：實驗數據間差異大，面積增加率無法正確反映壓碎前後趨勢。

2. 平均燒焦面積比例：實驗發現爆米花在450度(含)以下時不會燒焦。但在500度至600度之間的爆米花則有燒焦的情形。

小結：研究目標為口感爽脆，故優先剔除造成燒焦的500~600度。

3. 平均爆開時間：450度爆開時間最短、400度次之、300度最長。

小結：考量大眾加熱爆米花時的便利性與習慣，故也排除時間過長的300~400度。



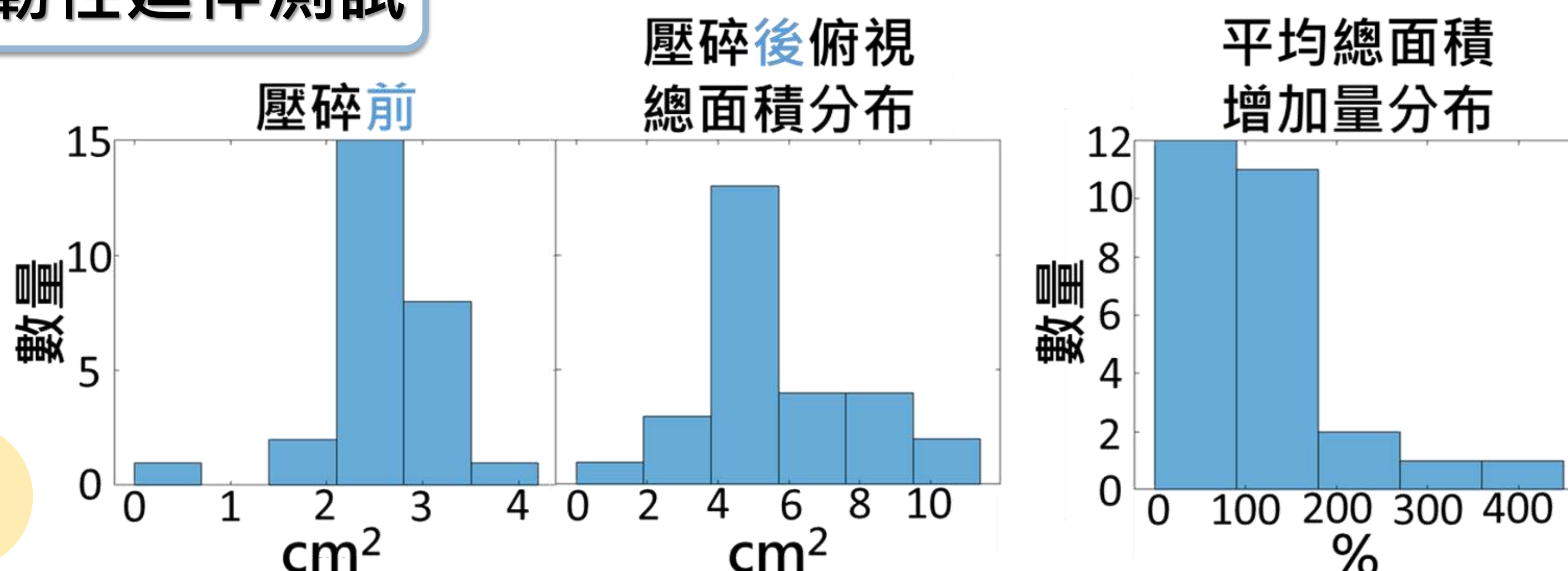
目的三結論：由實驗結果與視覺化飛行散佈圖發現，450度的成效有較均勻的分布狀況而且碎片量明顯多於其他溫度；因此選擇450度作為烹飪溫度。

目的四：最佳烹飪爆米花溫度的脆裂度與韌性延伸測試

1. 壓碎前後的平均面積統計結果：本目的實驗共27筆數據，其統計數據則如下表與右圖所描述。

壓碎前平均面積	壓碎後平均面積	平均面積增加率	碎片平均飛行距離	大碎片平均飛行距離
2.5 cm ²	5.7 cm ²	126%	1.7 cm	1.2 cm

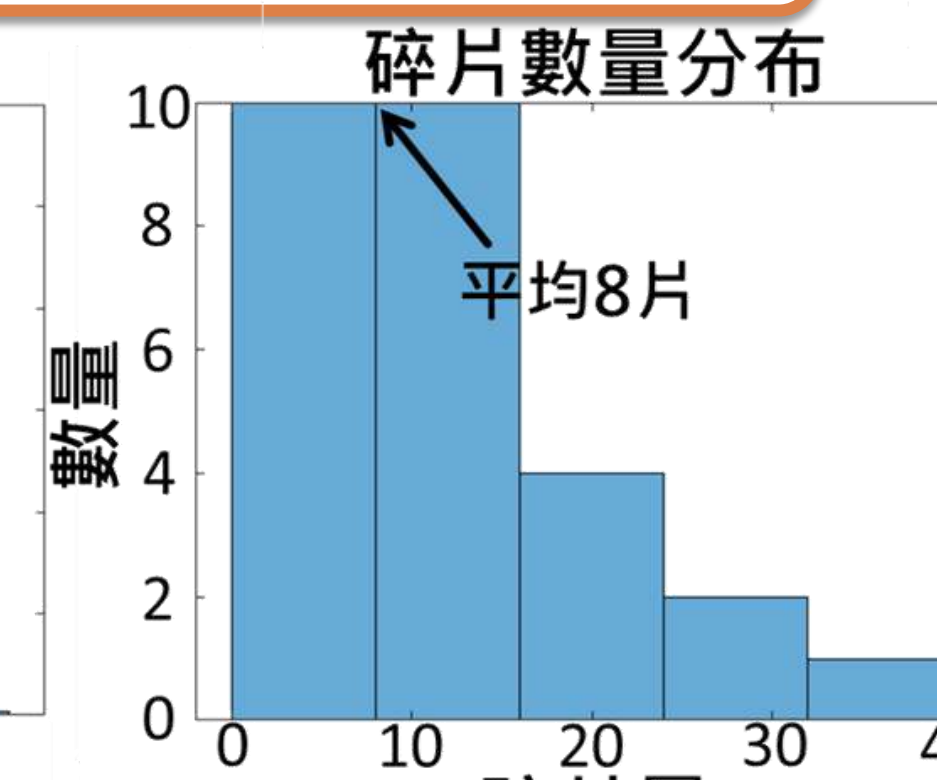
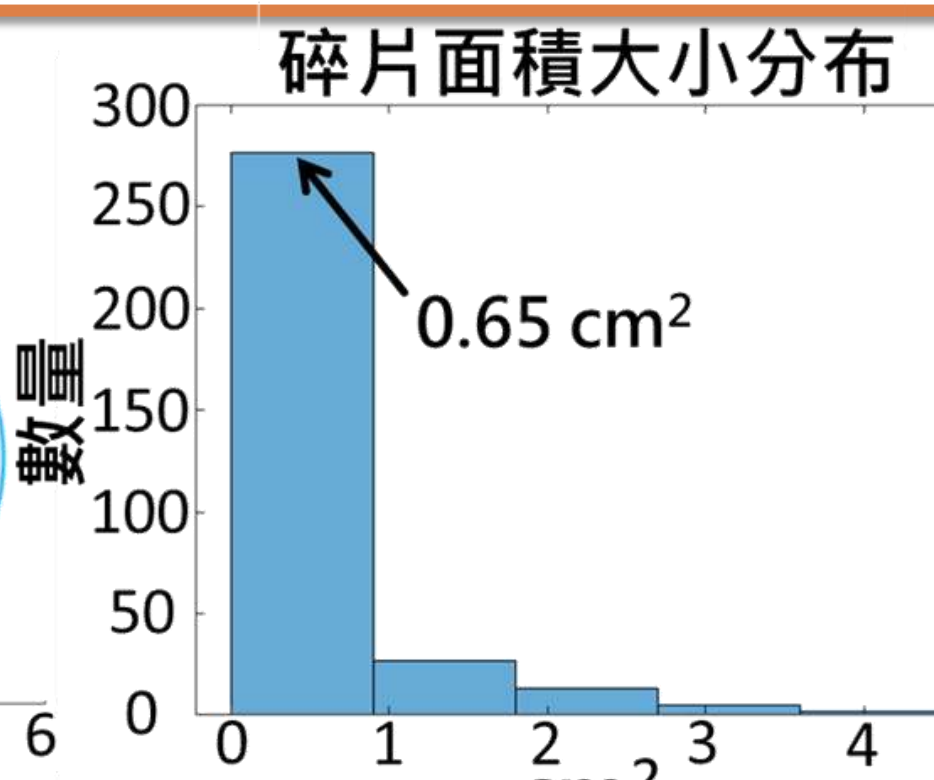
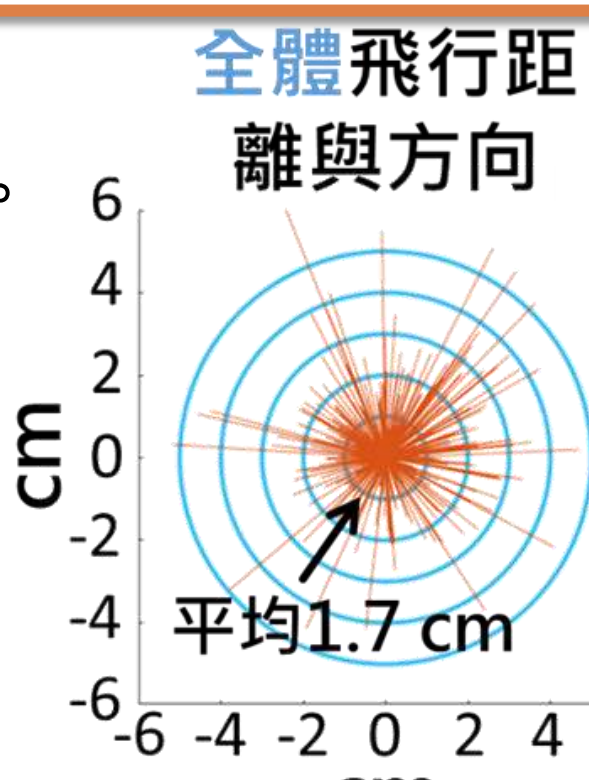
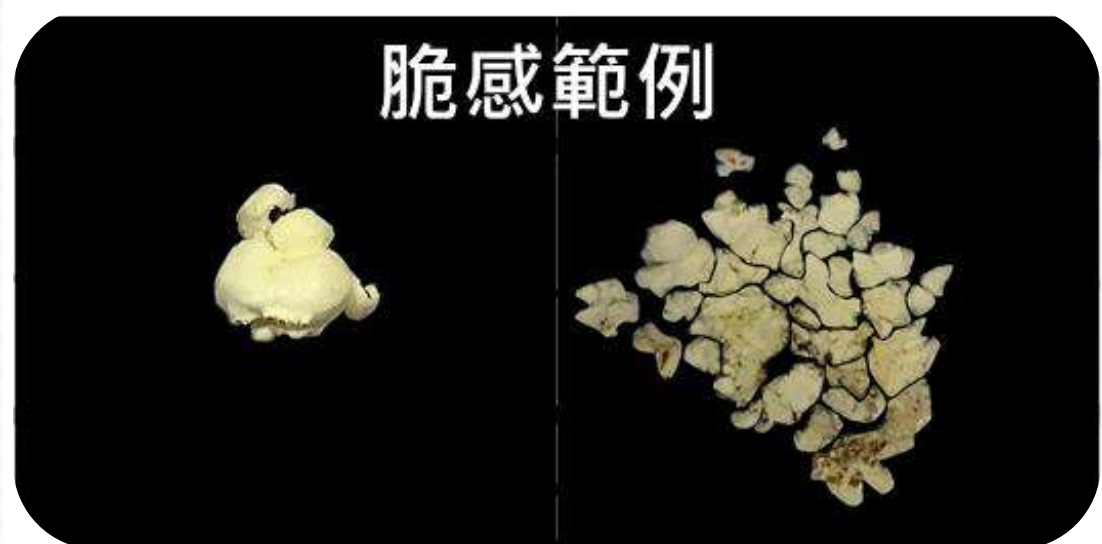
小結：整體與大碎片的平均飛行距離分別為1.7 cm與1.2 cm。將藉助「體積飛行球」協助口感分類！



目的四：最佳烹飪爆米花溫度的脆裂度與韌性延伸測試(續)

2. 脆裂度分析：

共產生323片爆米花碎片。



小結：碎片分布均勻，平均飛行距離約為1.7 cm(如左圖)且多為小面積碎片。故若一口咬下之碎片面積約為0.65 cm²(如中圖)且數量約為八片(如右圖)，則稱之為「較脆」；此時爆米花口感似餅乾。

假設：口感脆(硬)能彈飛較遠。

方法：分析飛行距離、面積與數量。

3. 韌性分析：如右圖群描述。

假設：若碎片具有「韌性」，則具備足夠彈性能維持一定大小。

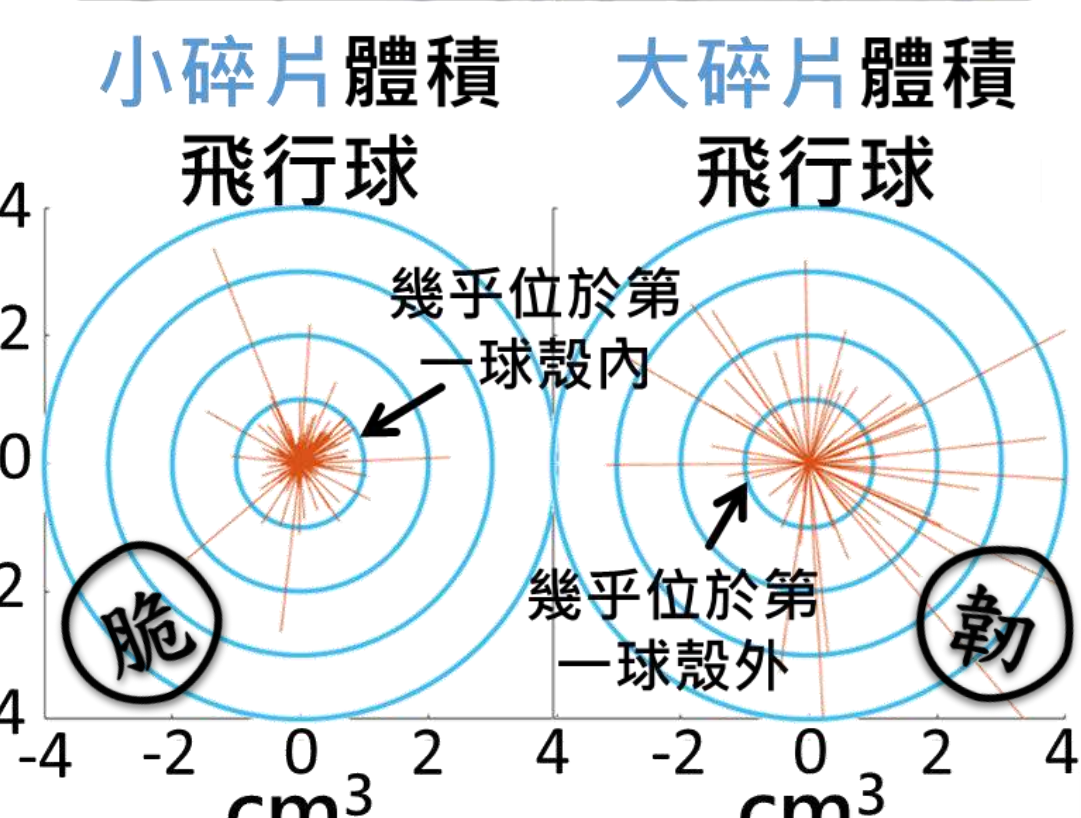
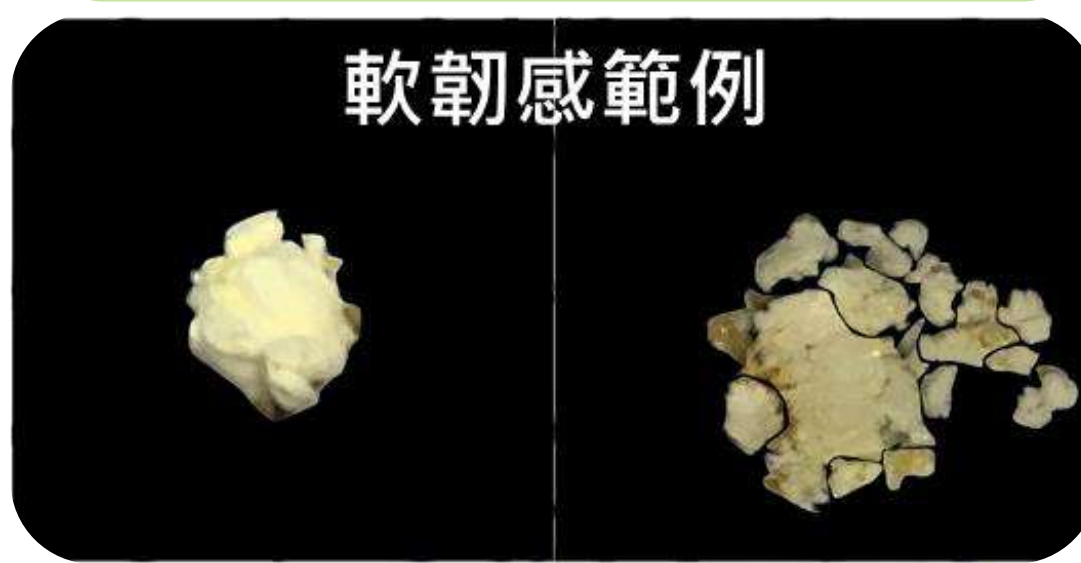
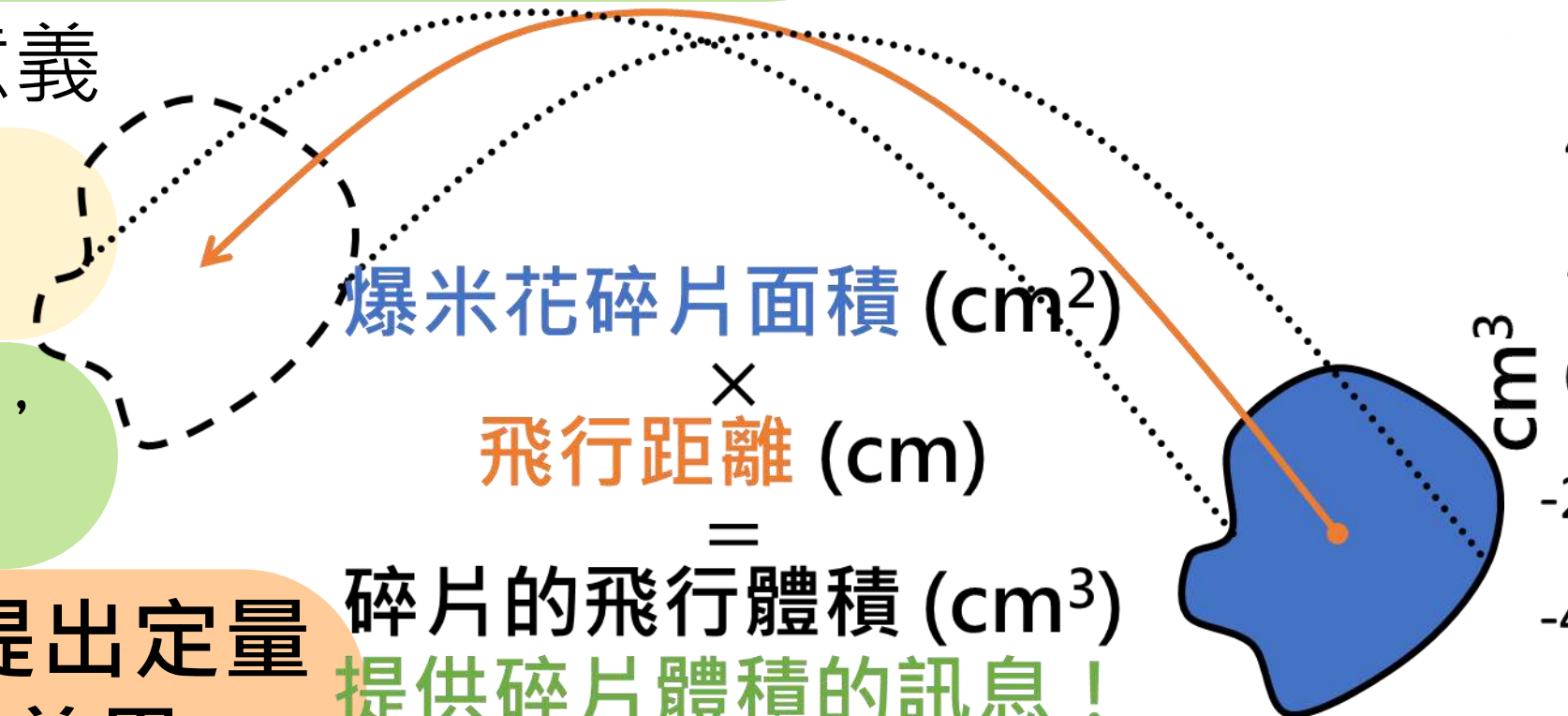
小結：若咬下的碎片大於原始總面積大小的25%且在口中飛行距離小於1.2 cm(如左圖)，則為「較韌」。此時爆米花口感更為鬆軟，咬在嘴裡不會馬上破碎而是被擠壓成小塊(如右圖)。

4. 脆度與韌度的有趣比較：體積飛行球的意義

方法：體積飛行球=

$$\text{每片碎片面積} \times \text{該碎片飛行距離}$$

小結：小碎片大部分散佈在第一圈球殼內，大碎片則是大部分散佈在第一圈球殼外。

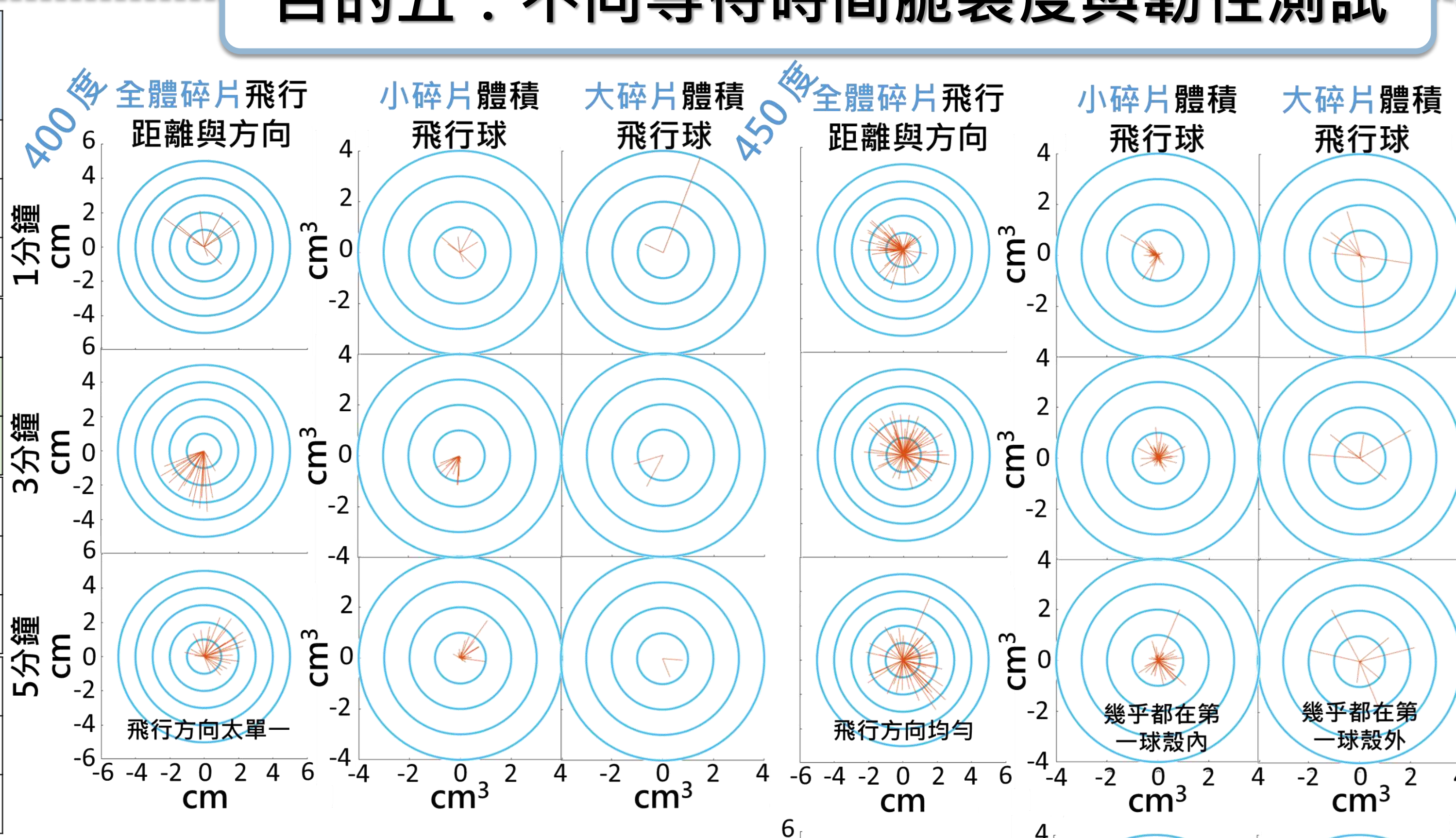


目的四結論：我們定義「脆」與「韌」並提出定量描述，同時由體積飛行球視覺化兩者之間的差異。

提供碎片體積的訊息！

目的五：不同等待時間脆裂度與韌性測試

溫度	等待時間	全體碎片平均飛行距離	大碎片平均飛行距離
400度	1分鐘	1.7 cm	0.6 cm
	3分鐘	2.2 cm	1.0 cm
	5分鐘	1.5 cm	0.6 cm
450度	1分鐘	1.1 cm	0.9 cm
	3分鐘	1.6 cm	1.0 cm
	5分鐘	1.7 cm	1.0 cm
500度	1分鐘	1.7 cm	0.8 cm
	3分鐘	1.5 cm	0.9 cm
	5分鐘	1.2 cm	0.6 cm
550度	1分鐘	1.3 cm	0.7 cm
	3分鐘	1.2 cm	0.8 cm
	5分鐘	1.3 cm	0.7 cm



1. 從飛行距離看脆與韌：本目的中各溫度且各項目下各共有9個數據。

400度推論：因飛行距離隨時間變化都在1.7 cm附近，故由「研究目的四」的結果推論，400度烹飪的爆米花則至少在五分鐘之內都可保有酥脆口感。

450度推論：450度烹飪的爆米花則是在3分鐘後逐漸到達最佳口感，推測是由於其中水氣散失所造成。

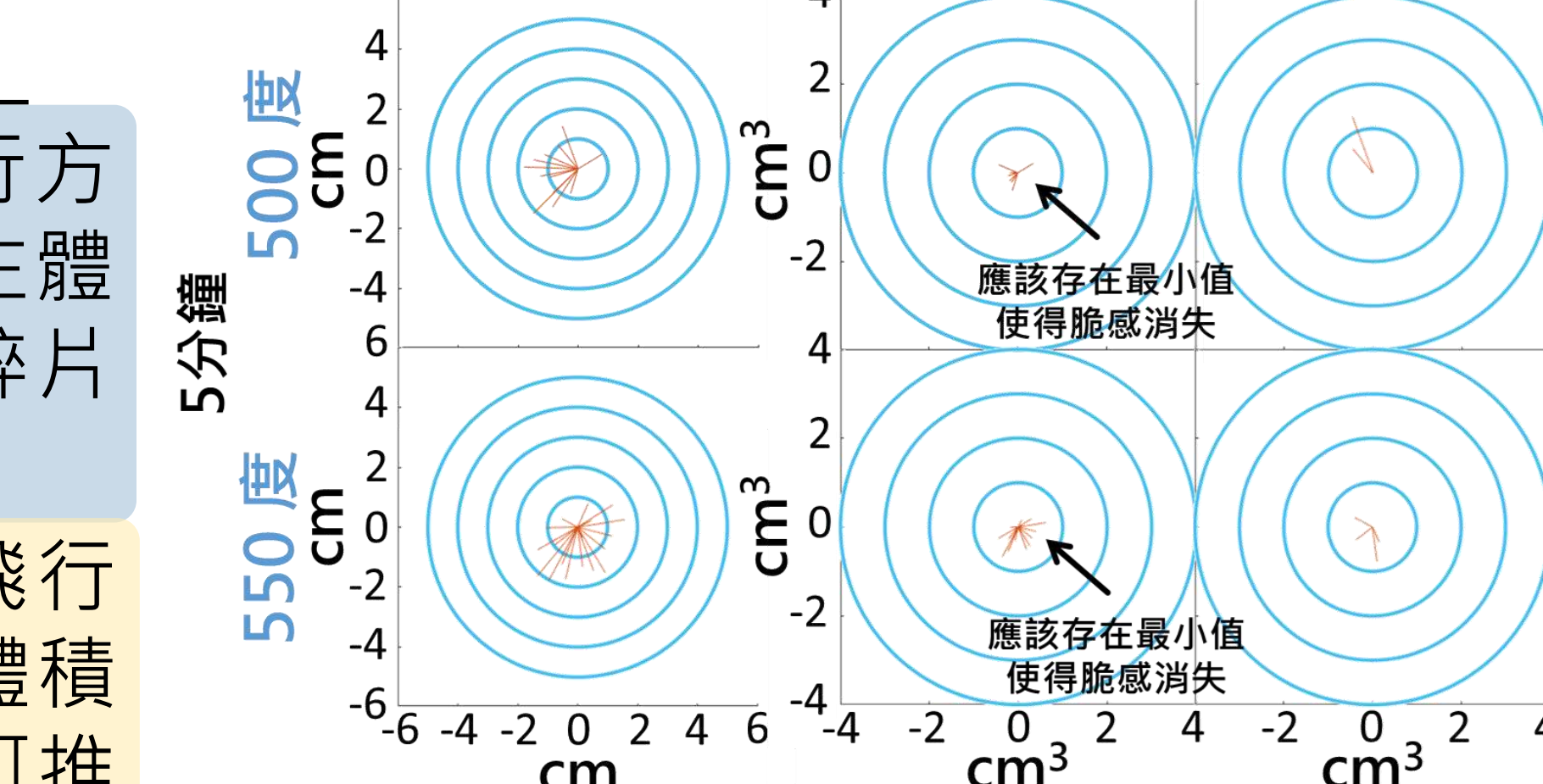
500~550度推論：兩者在一分鐘內達到脆感，但脆感隨時間消失。大碎片飛行距離小於1.2 cm，推估口感隨時間迅速趨向軟韌。

2. 體積飛行球看脆與韌：

400度推論：碎片少飛行方向單一；小碎片幾乎落在體積飛行球第一圈內，大碎片量過少不予分析。

450度推論：碎片多且飛行方向均勻，大小碎片的體積飛行球成果符合期待，可推估口感兼具脆與韌。

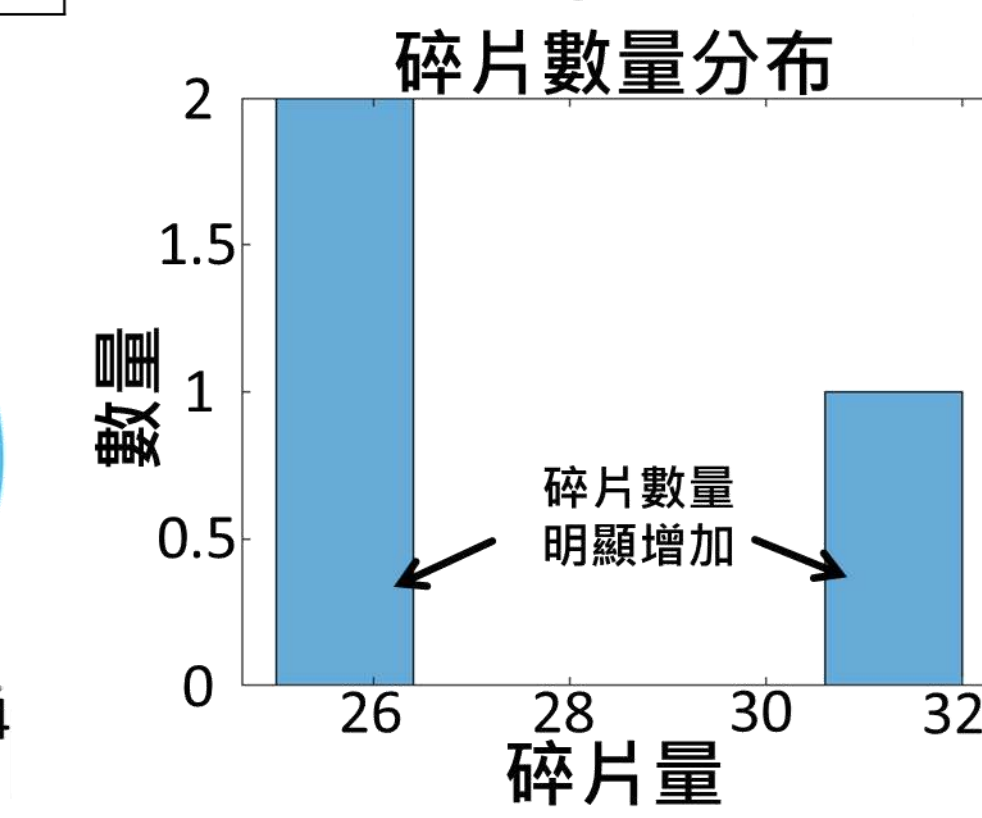
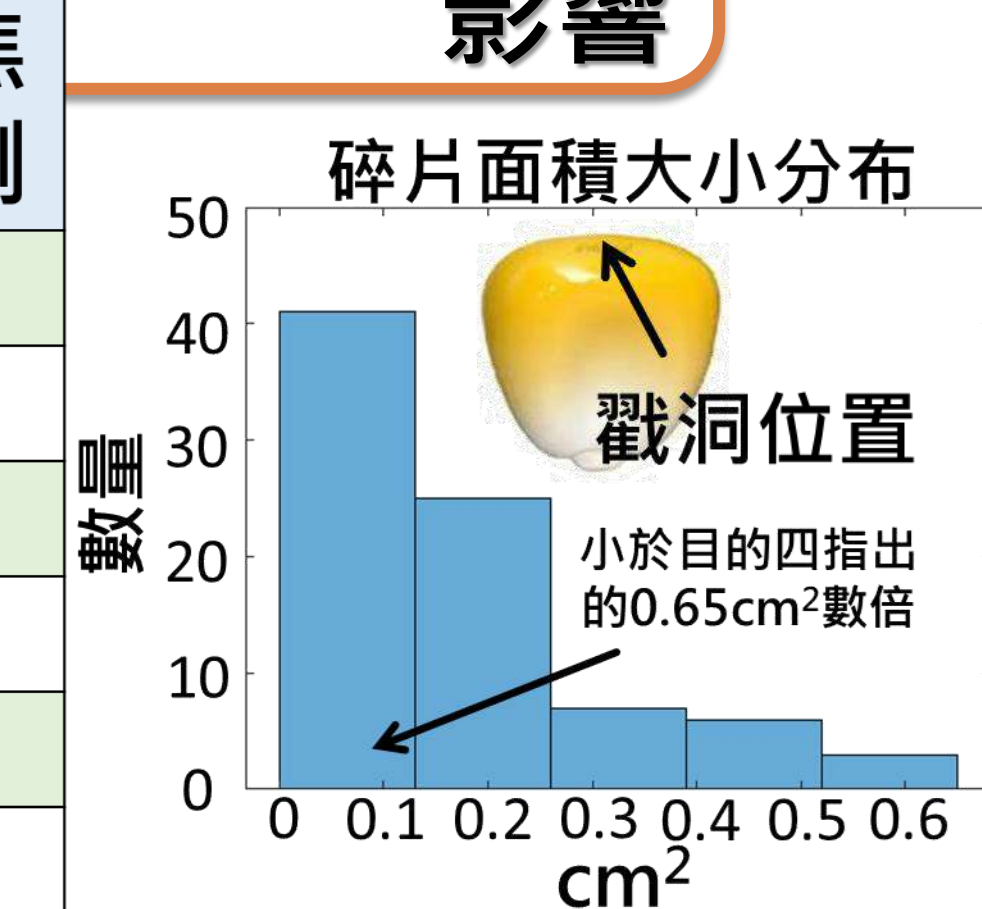
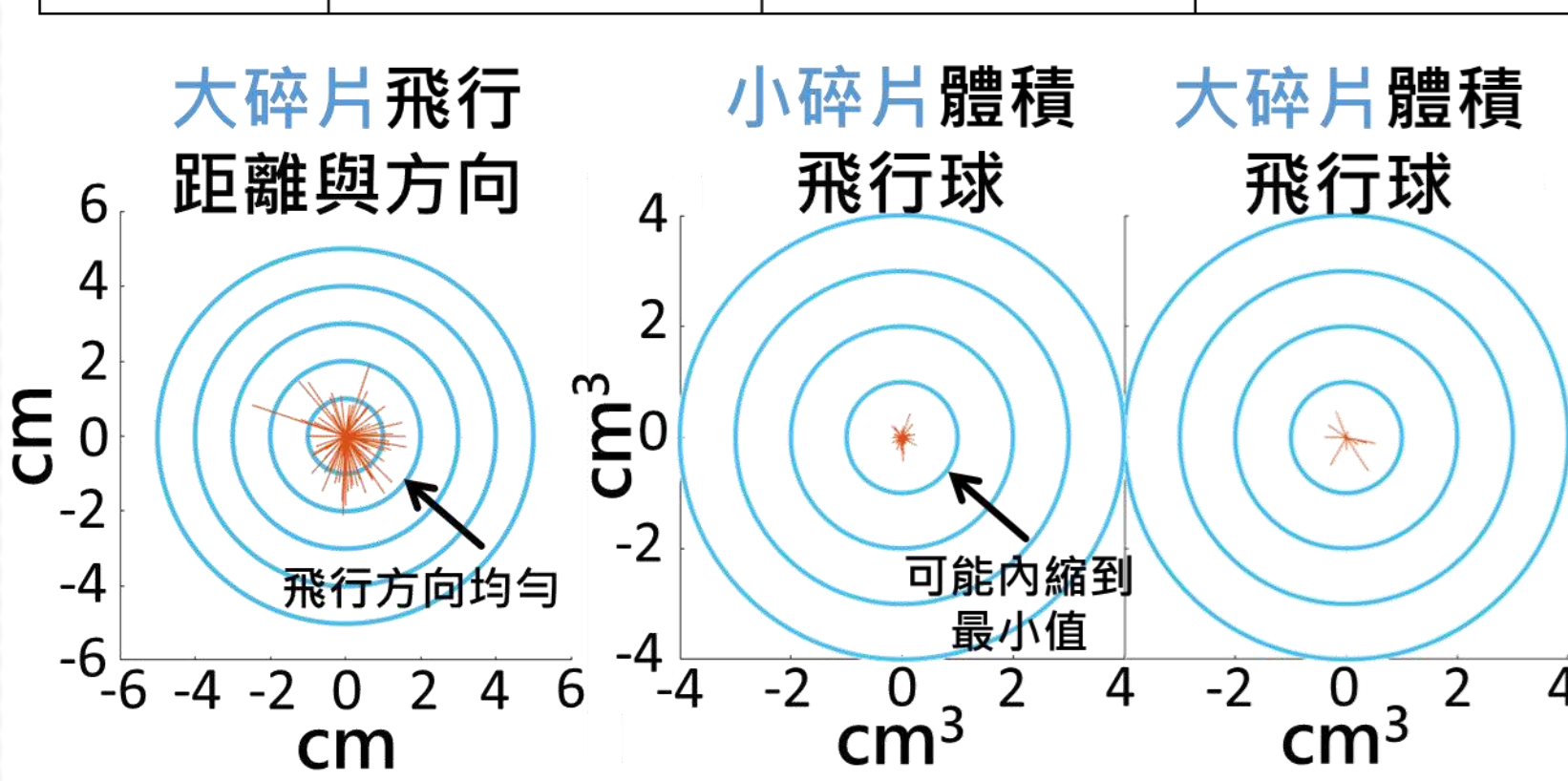
500~550度推論：碎片極少且由體積飛行球發現應有最小值，使數據低於此數值便無法分辨脆與韌。可能是過小碎片造成！



目的五結論：我們使用「目的四」結論進一步連結「脆」與「韌」與飛行距離以及體積飛行球之間的關連。因此獲得除可從飛行分布看碎片分布，還能從體積飛行球視覺化方法知道爆米花在不同烹飪溫度下的脆韌程度。

目的六：討論玉米粒有孔釋放壓力時，對爆米花的烹飪溫度、爆出時間，以及脆裂度之影響

溫度	碎片平均飛行距離	平均爆開時間	平均燒焦面積比例
300度	1.4 cm	1分12秒	無
	1.2 cm	4分48秒	無
450度	1.1 cm	20秒	無
	1.2 cm	1分10秒	無
500度	--	--	燒焦
	1.5 cm	24秒	17%



目的六結論：大小碎片的體積飛行球都隨溫度增加而縮小！碎片面積大小與碎片數量分布說明，其面積已小於「研究目的四」的0.65 cm²數倍且碎片數量也遠超過8片。故推論打孔會造成碎片數量多且小，使口感像是吃小型粉末！

研究結論

- ✓ 目的一：具備安全裝置的標準化測試儀
- ✓ 目的二：具備視覺化統計的人工智慧模型
- ✓ 目的三：「溫度」與「飛行距離」
- ✓ 目的四：
 - 脆的定義：飛行距離大於1.7 cm、碎片面積約0.65 cm²、數量約為8片，且位於體積飛行球的球殼內。
 - 韌的定義：飛行距離小於1.2 cm、碎片面積約為面積大小的25%，且位於體積飛行球的球殼外。
- ✓ 目的五：等待三分鐘，可讓450度烹飪成果兼具「脆」與「韌」。
- ✓ 目的六：外型完整口感最佳。

未來目標

我們很期待本作品提出的各種標準化研究方法與人工智慧工具：(1)標準化的脆裂度測試儀、(2)統計飛行測距與測向靶紙、(3)人工智慧模型，還有(4)體積飛行球的概念，可以貢獻給其他辨識與追蹤的研究工作，做為高效安全的視覺化統計分析工具。