

第三章 反射標定位模擬測試

反射標的主要作用是為了提供雷射掃瞄點雲資料一個明顯而且定位精準的特徵點，使後續不同測站的點雲資料在處理時，能夠直接利用三個以上相同的特徵點來當作共軛點，以便進行點雲的疊合。如果直接利用屋角、窗緣等建築本身的形貌作為疊合的共軛點，則在不同測站先後兩次對同一特徵物所選取的點位座標勢必有一個的人為判定的誤差，而無法正確地選擇共軛點；但是反射標則可利用固定規格的尺寸和不同反射率的材質，使我們可以直接利用 PointScape 內建的的計算功能來定出反射標的中心座標。因此，反射標定位將會對點雲疊合的精度有極大的影響。

本次實驗所選用的反射標為 Mensi 所生產的 target，如圖 3-1 所示。整個 target 的尺寸為 15 cm * 15 cm；中央的圓形區域為白色的強反射材質所製成，其半徑為 7 cm，以上尺寸均經過 Mensi 原廠率定後求得。

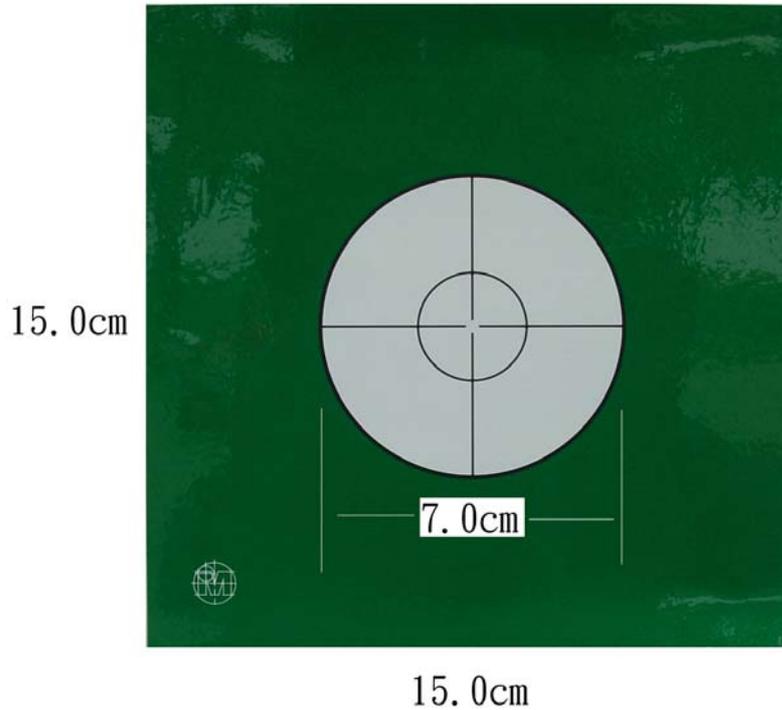


圖 3-1 Mensi 原廠的 target 尺寸

3-1 重複掃瞄反射標的次數之影響

在以往傳統測量的經驗中，肉眼瞄準對心之人為誤差，將會影響觀測的精度，因此重複觀測次數之多寡對成果精度的保障與提升非常重要；然而三維雷射掃瞄是以精準的雷射，由儀器計算雷射光反射回來的時間差與相位差來求得點位座標，可避免上述之人為誤差，所以重複觀測對精度的影響量應該極小。

本實驗將分析重複掃瞄同一反射標的次數對點位精度的影響，並將決定之後的測試與檢定需要多少次的重複觀測，以達到所要求的精度。

3-1-1 實驗設計

本實驗的實驗場選定在交通大學工程二館二樓的走廊，圖 3-2 即為本實驗選定的實驗場地。先將 target 貼於走廊盡頭的平坦牆面上，然後將 GS200 架設在距離牆面約 25 公尺處，對此 target 連續進行 30 次的掃瞄。為了純粹探討掃瞄次數對精度的影響，因此在 30 次掃瞄中並不搬移或關機，也不旋轉儀器掃瞄角度，以盡量減少可能影響精度的外在因素。



圖 3-2 實驗場-工程二館二樓走廊

3-1-2 成果整理與分析

本節將上述實驗之成果，利用 PointScape 來判定出每次掃瞄得到的 target 中心座標，如圖 3-3 所示，利用軟體內建的功能，可將掃瞄 target 的點雲資料根據掃瞄尺寸以及反射強度來判定 target 的中心位置。

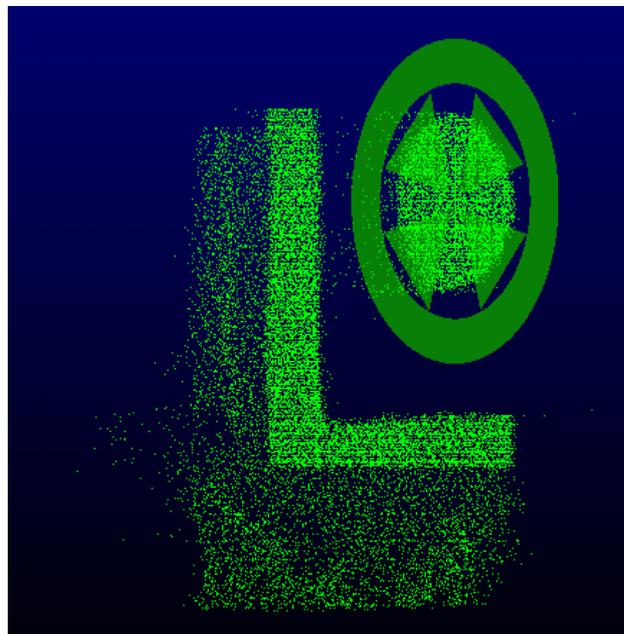


圖 3-3 第一次掃瞄 target 得到的點雲資料以及判定的中心示意圖

將每次掃瞄的點雲都設定為不同顏色，方便套疊後看出中心點判定的差異。圖 3-4 到圖 3-9 分別為重複掃瞄 5 次、10 次、15 次、20 次、25 次、30 次的 target 中心位置分佈圖。

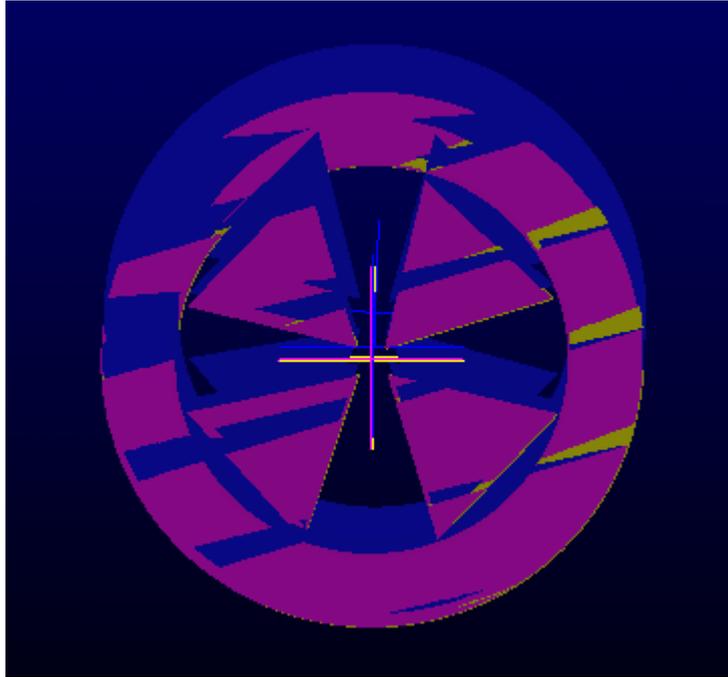


圖 3-4 分別重複掃瞄 5 次得到的 target 中心位置

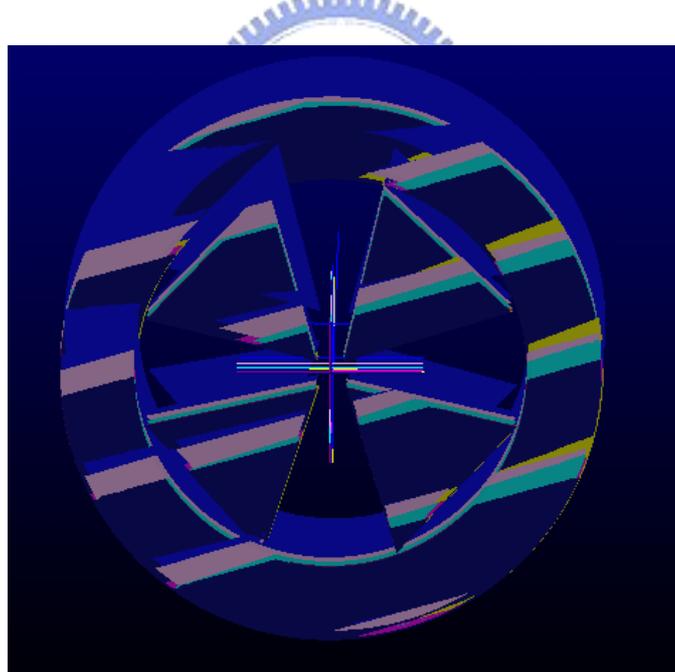


圖 3-5 分別重複掃瞄 10 次得到的 target 中心位置

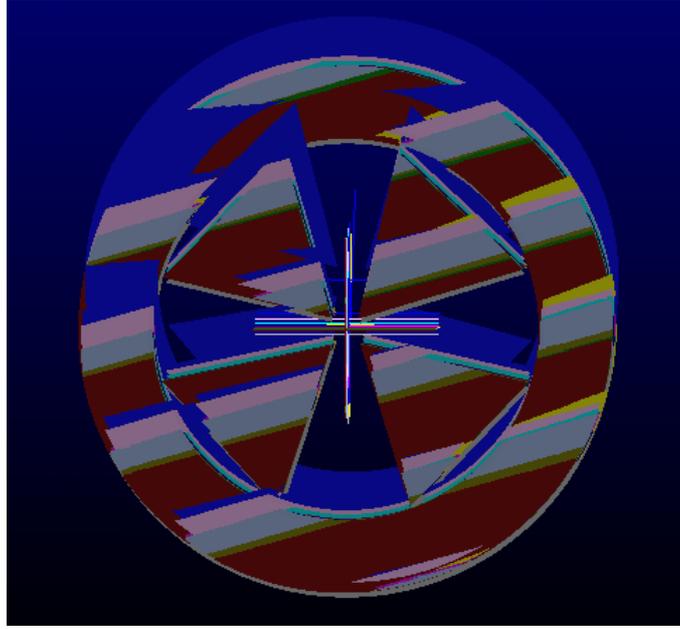


圖 3-6 分別重複掃瞄 15 次得到的 target 中心位置

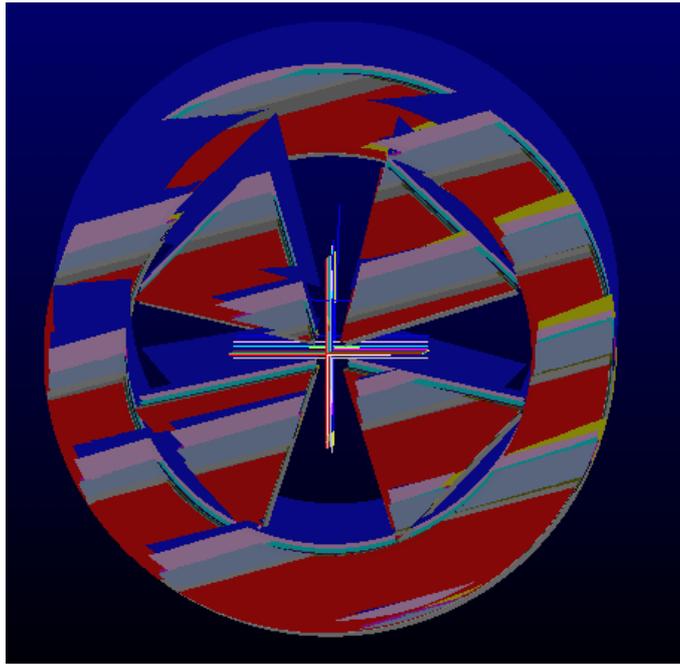


圖 3-7 分別重複掃瞄 20 次得到的 target 中心位置

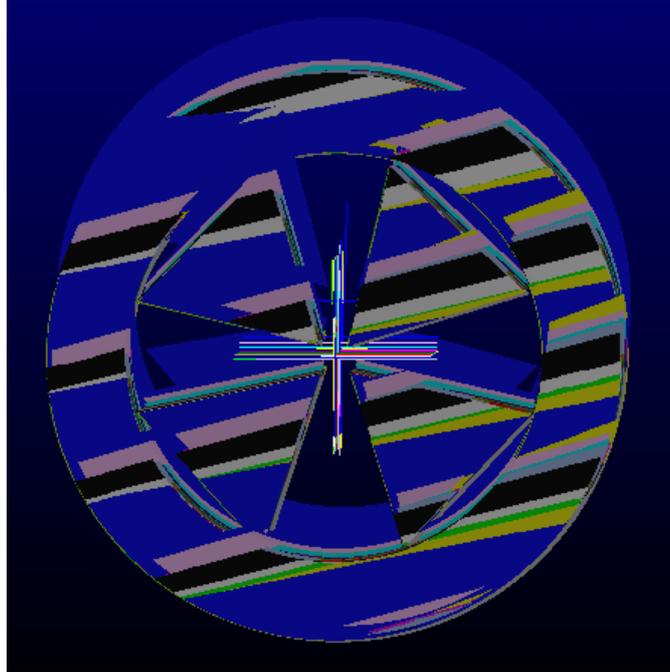


圖 3-8 分別重複掃瞄 25 次得到的 target 中心位置

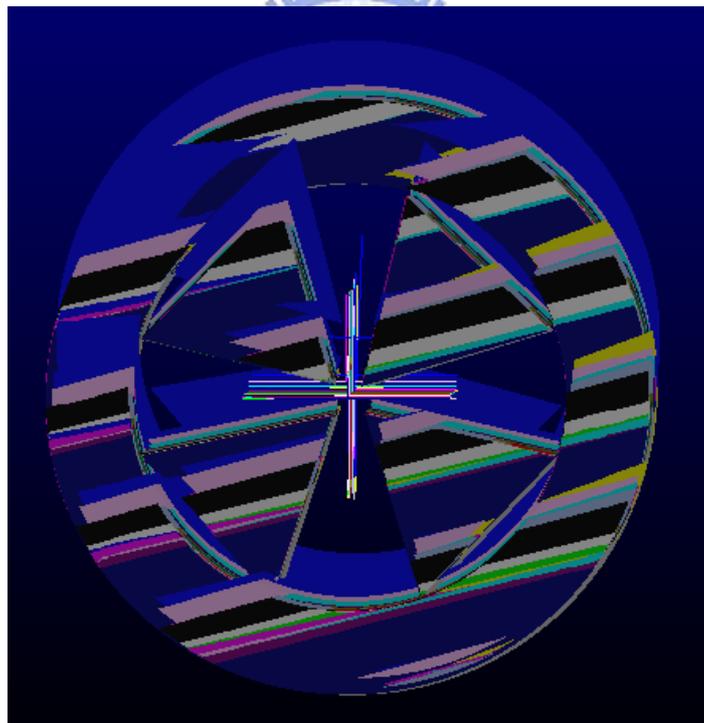


圖 3-9 分別重複掃瞄 30 次得到的 target 中心位置

由上圖可以看出，雖然每次判定的中心點位都非常接近，但是放大來看就可以發現並沒有完全重合，由中心點的座標值可以知道每次

掃瞄的差異量為多少。本實驗掃瞄得到的 target 中心座標為掃瞄儀與 target 的相對座標，下表 3-1 為掃瞄 30 次分別得到的 target 中心點相對座標以及儀器和 target 中心的距離，而表 3-2 是分別計算重複掃瞄 5 次、10 次、15 次、20 次、25 次、30 次得到的座標與距離的中誤差，圖 3-10 則為表 3-2 所繪出的關係圖。

表 3-1 重複掃瞄 30 次分別得到的 target 中心點座標(公尺)

	x(m)	y(m)	Z(m)	Distance(m)
1	19.349	16.321	0.216	25.314
2	19.350	16.321	0.216	25.314
3	19.350	16.320	0.226	25.314
4	19.350	16.321	0.216	25.315
5	19.349	16.321	0.219	25.314
6	19.349	16.321	0.216	25.315
7	19.349	16.321	0.217	25.314
8	19.349	16.321	0.217	25.315
9	19.350	16.322	0.216	25.315
10	19.350	16.321	0.216	25.315
11	19.350	16.322	0.214	25.315
12	19.349	16.322	0.215	25.315
13	19.350	16.322	0.216	25.315
14	19.350	16.322	0.215	25.315
15	19.350	16.322	0.215	25.315
16	19.350	16.323	0.215	25.316
17	19.349	16.322	0.215	25.315
18	19.349	16.323	0.215	25.315
19	19.350	16.323	0.215	25.316
20	19.349	16.323	0.215	25.316
21	19.349	16.322	0.215	25.315
22	19.349	16.323	0.215	25.315
23	19.349	16.323	0.215	25.316
24	19.349	16.323	0.215	25.316

25	19.350	16.323	0.215	25.316
26	19.349	16.323	0.215	25.316
27	19.350	16.323	0.215	25.316
28	19.349	16.323	0.215	25.316
29	19.349	16.323	0.215	25.316
30	19.350	16.323	0.214	25.316
Average	19.349	16.322	0.216	25.315

表 3-2 不同重複掃瞄次數得到的座標與距離的中誤差(公尺)

	σ_x	σ_y	σ_z	σ_d
5 次	0.001	0.000	0.004	0.000
10 次	0.001	0.000	0.003	0.001
15 次	0.001	0.001	0.003	0.000
20 次	0.001	0.001	0.003	0.001
25 次	0.001	0.001	0.002	0.001
30 次	0.001	0.001	0.002	0.001

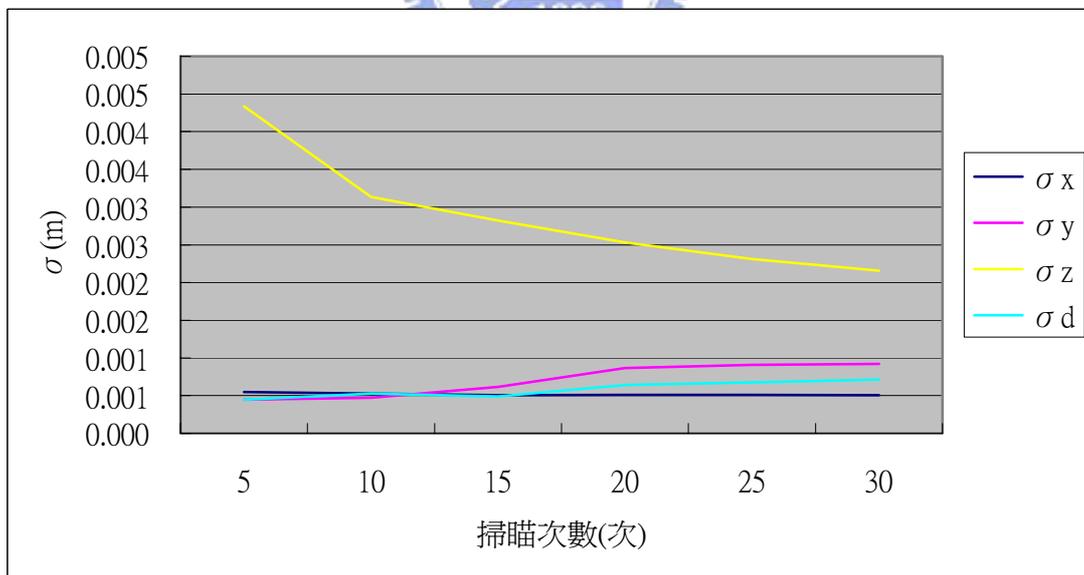


圖 3-10 重複掃瞄的次數與 σ 值的關係圖

由以上的圖表可以看出，在 25 公尺左右的距離下，重複掃瞄的

次數對座標及測距精度的影響極小，均在 5mm 以內。x、y 方向以及距離的中誤差更是遠遠小於 z 方向的精度，都在 1mm 以下。

觀察 z 方向的座標，我們可發現第三次掃描得到的中心座標其 z 值與平均相差了 10mm，已經超過了 3 倍的中誤差；如將此筆資料當作錯誤剔除後，重新繪製曲線圖，如圖 3-11 所示，可以看出三軸的座標值以及距離的中誤差都小於 2mm。

綜合以上結果可以得到一個結論：掃描次數的多少和定位與測距精度沒有很明顯的關係，在 25 公尺的距離，定位和測距可以達到 2mm 以下的高精度；但為了避免有錯誤值，之後的實驗仍然進行五次的重複觀測。

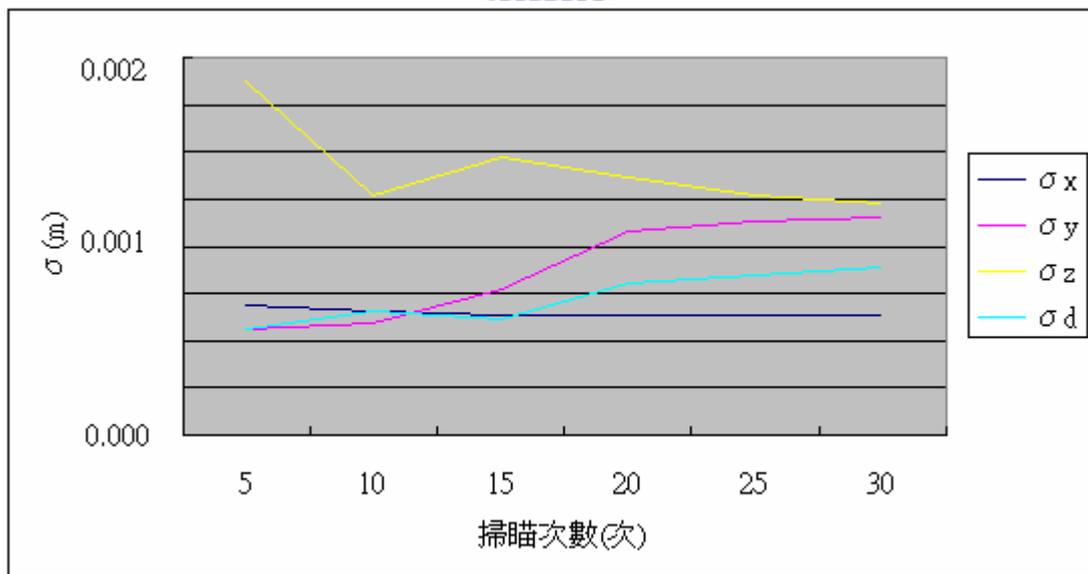


圖 3-11 去除 z 方向錯誤之後重複掃描次數與 STD 的關係圖

3-2 旋轉不同角度反射標之影響分析

在 3-1 的實驗中，我們僅固定同一個方向來進行掃瞄，但在實際外業的情況下，目標物的表面通常和掃瞄儀都會有個角度，因此本實驗的目的在測試反射標和儀器在不同掃瞄角度時，其判定中心點能力與定位精度，並可以根據實驗結果，分析在實際外業中，反射標擺設超過多少角度不適合做為轉換地面座標的控制點以及點雲疊合的共軌點。

3-2-1 實驗設計



實驗區一樣選擇在工程二館二樓的走廊，並設計一個簡易的道具，如圖 3-12 所示，讓反射標可以根據道具上的度盤刻度調整傾斜角度。將掃瞄儀架設於距離反射標大約 25 公尺左右處。

把反射標正對於掃瞄儀的角度設為 0° ，重複掃瞄五次；再依照度盤刻度水平方向轉動 10° ，同樣進行五次的重複掃瞄。依照上述步驟，每一次都轉動 10° ，進行五次重複掃瞄，直到接近 90° 無法辨識為止。在本實驗的過程中，一樣不搬動儀器或關機，以盡量減少外在影響因素。

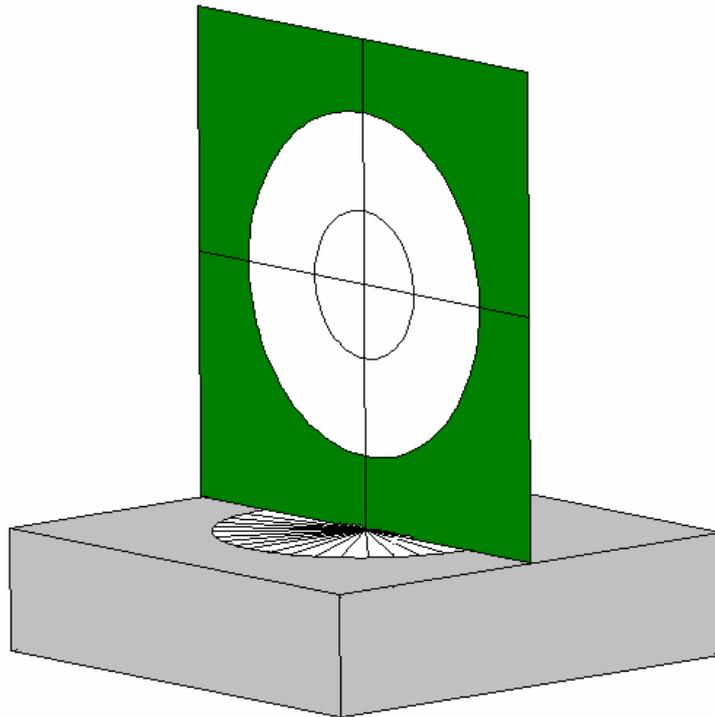


圖 3-12 檢驗不同反射標角度使用的道具

3-2-2 成果整理與分析



本實驗中針對反射標的水平旋轉角度 0° 到 90° 之內，反射標以順時針方向旋轉，間格 10° 的旋轉角度來進行探討。因為在旋轉 90° 時，標面正好與觀測角度平行，無法掃瞄標面；超過 90° 則僅能掃瞄到反射標的背面而無意義。

因每個旋轉角度都進行五次重複掃瞄，為了方便觀察不同角度掃瞄的變化，故將重複掃瞄的點雲資料同時展於同一個視窗，因此圖 3-13 到圖 3-21 分別為旋轉角度為 0° 、 10° 、 20° 、 30° 、 40° 、 50° 、 60° 、 70° 、 80° 時，各進行五次重複掃瞄的點雲資料，圖 3-22 則為全部點雲疊合後的展示圖。

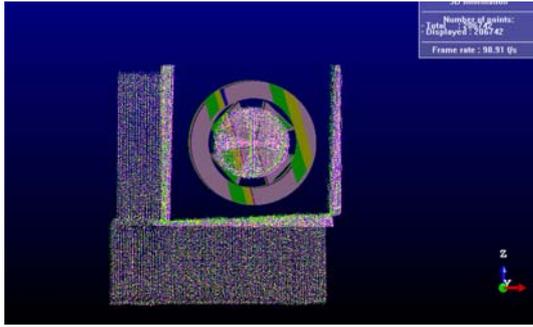


圖 3-13 旋轉角度 0°

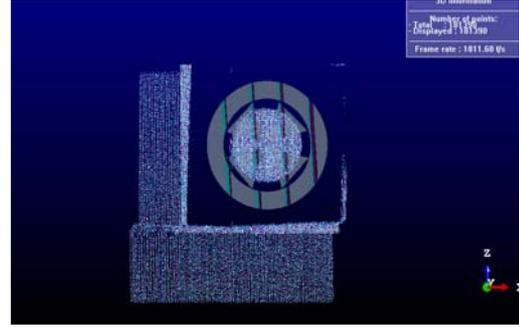


圖 3-14 旋轉角度 10°

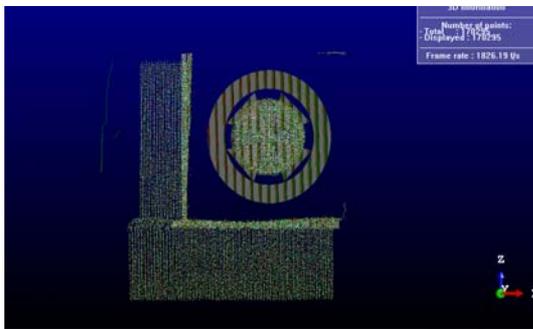


圖 3-15 旋轉角度 20°

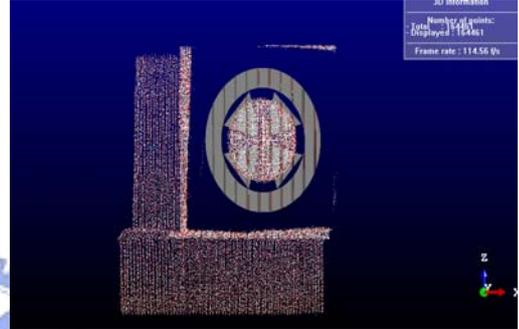


圖 3-16 旋轉角度 30°

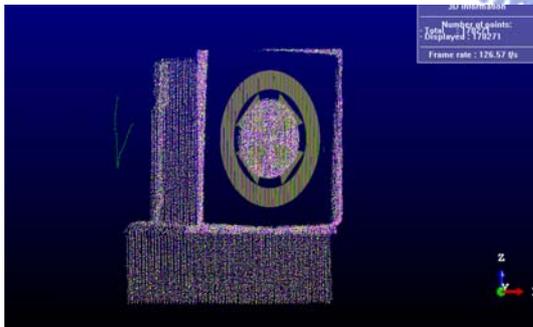


圖 3-17 旋轉角度 40°

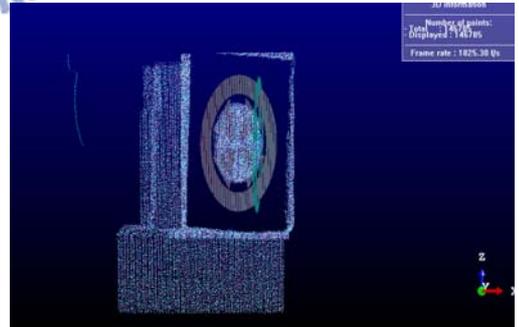


圖 3-18 旋轉角度 50°

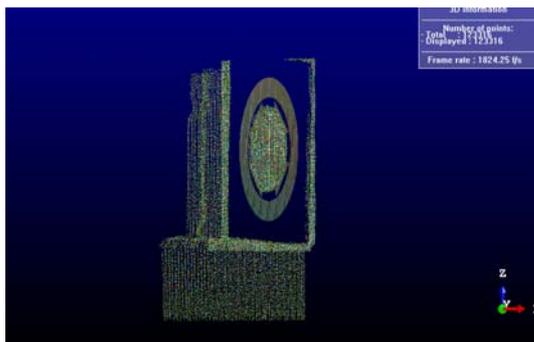


圖 3-19 旋轉角度 60°

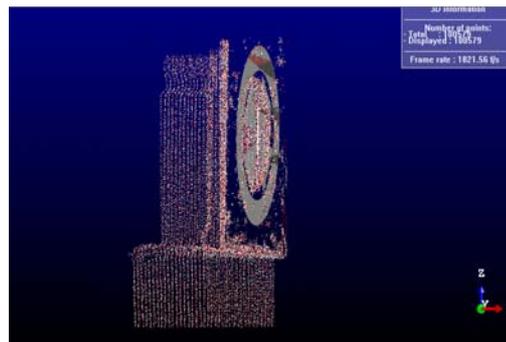


圖 3-20 旋轉角度 70°

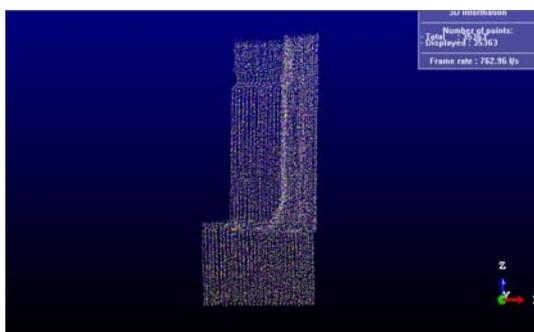


圖 3-21 旋轉角度 80°

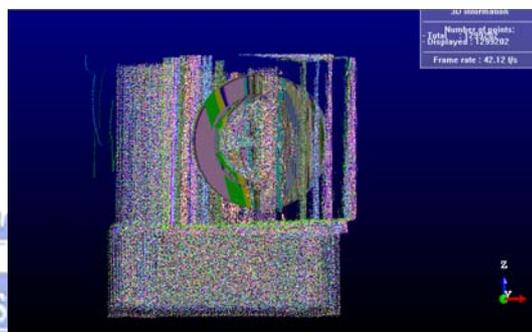


圖 3-22 全部點雲疊合圖

由上圖可以看到，從 target 的傾斜角為 80° 之後，將因傾角過大而不利於掃瞄，使系統無法判定 target 的中心點。另外從圖 3-18 可以發現，其中一次的重複掃瞄判定出來的中心點與同樣角度下其他四次得到的中心點有不小的差異；根據當時所記錄的備註，在進行當次掃瞄時，正好有人停在掃瞄路徑上而造成遮蔽，因而可能使 target 中心點定位發生誤差，而遮蔽對中心點定位的影響將在下節之中探討。

本節得到的資料成果之觀察重點放在不同掃瞄角度的精密度

(precision)，通常以標準偏差 (standard deviation, STD) 來作為評斷精密度的指標；另外也將以 0° 時做為基準，計算不同角度掃瞄得到的X、Y、Z方向座標和距離的差值。由表3-3可得到每次掃瞄所判定出的中心點座標、距離以及不同角度五次重複觀測得到的STD，表3-4則是以target的傾斜角為 0° 時，亦即掃瞄target的正面所得到的中心點位座標為基準，與各角度算出的平均座標所計算出的差值，其中的 Δ 是以傾斜角度 0° 的狀況減去有傾斜角度時的座標差值。

表 3-3 掃瞄得到的中心座標、距離與中誤差(單位:公尺)

0°				
	x	y	z	distance
1	1.43	25.072	-0.403	25.116
2	1.431	25.073	-0.403	25.117
3	1.432	25.073	-0.403	25.117
4	1.433	25.073	-0.403	25.117
5	1.433	25.073	-0.404	25.117
AVG	1.432	25.073	-0.403	25.117
STD	0.001	0.000	0.000	0.000
10°				
	x	y	z	distance
1	1.434	25.071	-0.404	25.115
2	1.434	25.071	-0.404	25.116
3	1.434	25.072	-0.404	25.116
4	1.434	25.072	-0.404	25.116
5	1.434	25.072	-0.404	25.116
AVG	1.434	25.072	-0.404	25.116
STD	0.000	0.001	0.000	0.000

20°				
	x	y	z	distance
1	1.434	25.07	-0.404	25.115
2	1.433	25.071	-0.404	25.115
3	1.433	25.071	-0.404	25.115
4	1.433	25.071	-0.404	25.116
5	1.433	25.072	-0.404	25.116
AVG	1.433	25.071	-0.404	25.115
STD	0.000	0.001	0.000	0.001
30°				
	x	y	z	distance
1	1.433	25.071	-0.404	25.115
2	1.433	25.071	-0.404	25.116
3	1.433	25.072	-0.404	25.116
4	1.433	25.072	-0.404	25.116
5	1.433	25.072	-0.404	25.116
AVG	1.433	25.072	-0.404	25.116
STD	0.000	0.001	0.000	0.000
40°				
	x	y	z	distance
1	1.432	25.071	-0.404	25.115
2	1.432	25.072	-0.404	25.116
3	1.432	25.072	-0.404	25.116
4	1.432	25.072	-0.404	25.117
5	1.432	25.072	-0.404	25.117
AVG	1.432	25.072	-0.404	25.116
STD	0.000	0.000	0.000	0.001
50°				
	x	y	z	distance
1	1.45	25.036	-0.406	25.082
2	1.432	25.072	-0.405	25.116
3	1.433	25.072	-0.405	25.116
4	1.432	25.072	-0.405	25.116
5	1.433	25.072	-0.405	25.116
AVG	1.436	25.065	-0.405	25.109
STD	0.008	0.016	0.000	0.015

60°				
	x	y	z	distance
1	1.432	25.072	-0.406	25.116
2	1.432	25.072	-0.406	25.116
3	1.432	25.073	-0.405	25.117
4	1.432	25.073	-0.406	25.117
5	1.432	25.073	-0.405	25.117
AVG	1.432	25.073	-0.406	25.117
STD	0.000	0.001	0.001	0.001
70°				
	x	y	z	distance
1	1.433	25.069	-0.405	25.113
2	1.433	25.069	-0.406	25.113
3	1.433	25.069	-0.405	25.113
4	1.433	25.069	-0.406	25.113
5	1.433	25.069	-0.405	25.113
AVG	1.433	25.069	-0.405	25.113
STD	0.000	0.000	0.001	0.000

表 3-4 不同角度掃瞄得到的平均座標和距離與 0° 時的差值

	$\Delta x(m)$	$\Delta y(m)$	$\Delta z(m)$	$\Delta d(m)$
10°	0.002	-0.001	-0.001	-0.001
20°	0.001	-0.002	-0.001	-0.001
30°	0.001	-0.001	-0.001	-0.001
40°	0.000	-0.001	-0.001	-0.001
50°	0.004	-0.008	-0.002	-0.008
60°	0.000	0.000	-0.002	0.000
70°	0.001	-0.004	-0.002	-0.004

傾斜角 50° 進行重複掃瞄的成果中，將其中因遮蔽而導致中心點定位偏移的資料去除後，表 3-3 和 3-4 中 50° 的部分更正為：

50°				
	x	y	z	distance
1	1.432	25.072	-0.405	25.116
2	1.433	25.072	-0.405	25.116
3	1.432	25.072	-0.405	25.116
4	1.433	25.072	-0.405	25.116
AVG	1.433	25.072	-0.405	25.116
STD	0.001	0.000	0.000	0.000

	Δx	Δy	Δz	Δd
50°	0.001	-0.001	-0.002	-0.001

(單位:公尺)

圖 3-23 是 target 的旋轉角度與 x、y、z 座標、距離的中誤差所繪出的關係圖，圖 3-24 則是由表 3-4 所繪出的曲線圖。

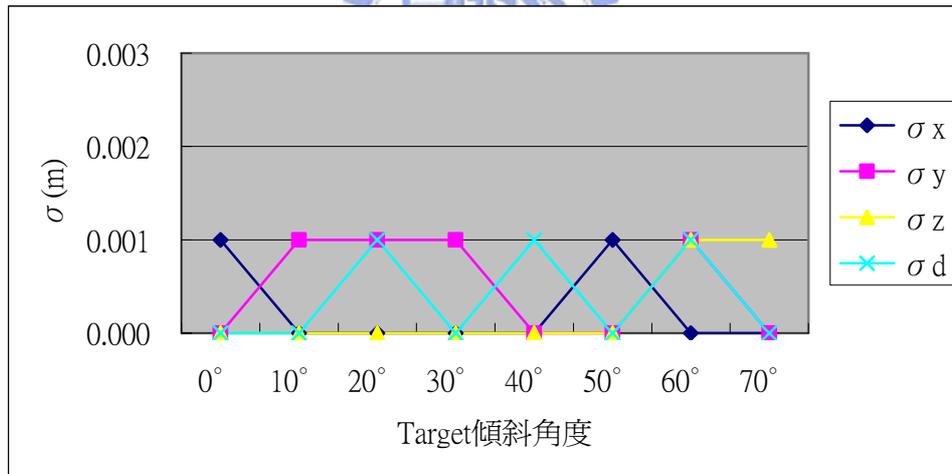


圖 3-23 傾斜角度和 STD 的關係圖

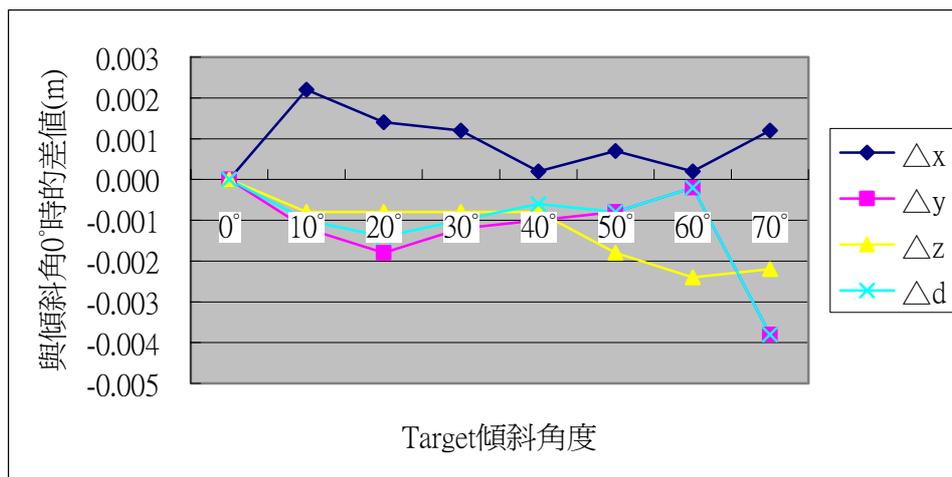


圖 3-24 傾斜角度與差值的關係圖

由上述的成果很明顯可以看出，在可以判定的掃瞄角度 70° 之內，掃瞄角度並不會影響雷射掃瞄的定位精度；除了個別的中誤差都在 1mm 之內，另外我們以 0° 掃瞄為基準時，每個掃瞄角度得到的反射標中心座標值都和基準相當接近，因此在之後的實驗中，我們可以把因掃瞄角度產生的誤差忽略不記。

3-3 反射標的完整度之影響分析

一般測量在進行野外作業時，常常會遇到目標物被遮蔽的情形而導致測量品質的降低與作業的困難，而雷射掃瞄的外業工作也必然會遇到這種問題，但目前仍缺乏相關的論文探討或實驗；因此本節的實驗在利用控制反射標的遮蔽程度，來探討遮蔽對反射標定位的結果之影響。

3-3-1 實驗設計

為了減少外在環境因素的差異，我們同樣將實驗區選擇在工程二館的二樓走廊，反射標和掃瞄儀之間的距離也同樣設定約略為 25 公尺。



為了看出遮蔽程度與定位結果的關係，因此我們必須將反射標遮蔽的程度作有效控制。本實驗使用一張大小可以完全遮住反射標的圓形紙片，將其平均分為八等分，每一等分均為一個夾角 45° 的扇型，每一紙片的編號如圖 3-25 所示。在實驗之中，分別對無遮蔽、遮蔽 1 號、同時遮蔽 1 號和 2 號、同時遮蔽 1~3 號，直到遮蔽程度過大使反射標中心無法被判定為止，以上的情況即為遮蔽 $1/8$ 、 $2/8$...依此類推。對每一種情形均進行五次的重複觀測，並將針對其個別的中誤差以及無遮蔽情況為基準時不同遮蔽情形與基準的差值進行比較與

分析。

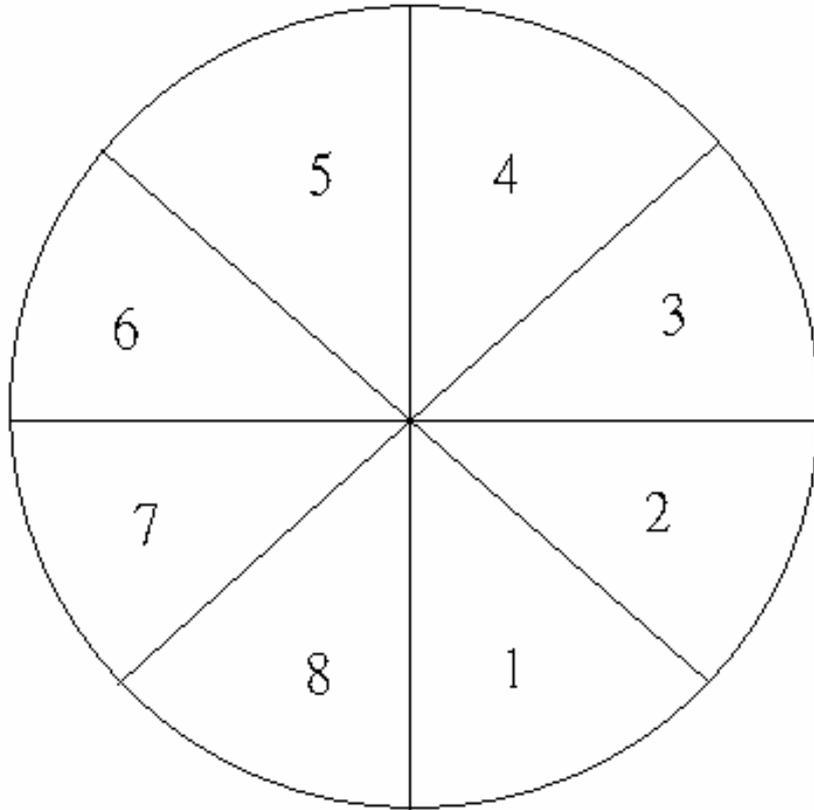


圖 3-25 遮蔽程度實驗所使用圓形紙片的編號示意圖

3-3-2 成果整理與分析

本實驗在不同的遮蔽狀況下都進行五次的重複觀測，並以無遮蔽時的掃描成果作為對應的基準；在資料處理上我們的觀察重點包括了不同遮蔽情形下的標準偏差，以及與無遮蔽情形掃描時 X、Y、Z 方向座標以及距離四個數值的差值。本實驗掃描得到的點雲如圖 3-26~圖 3-31 所示，分別為無遮蔽、遮蔽 1/8、遮蔽 2/8 直到 5/8 時掃描得到的點雲資料，由於遮蔽 6/8 時開始因遮蔽過大而無法辨識，因此

本實驗進行到遮蔽程度為 $5/8$ 的情形。圖 3-32 則為全部點雲資料套合的成果。

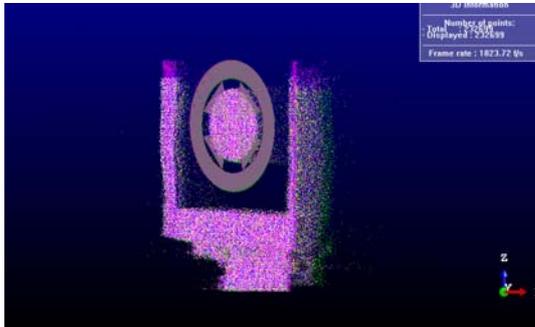


圖 3-26 無遮蔽時的點雲成果

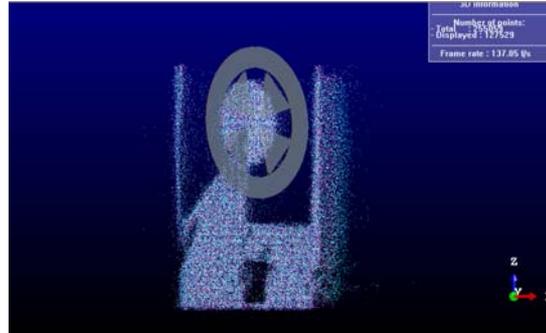


圖 3-27 遮蔽 $1/8$ 時的點雲成果

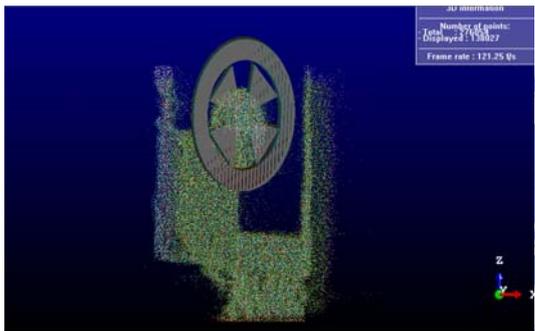


圖 3-28 遮蔽 $2/8$ 時的點雲成果

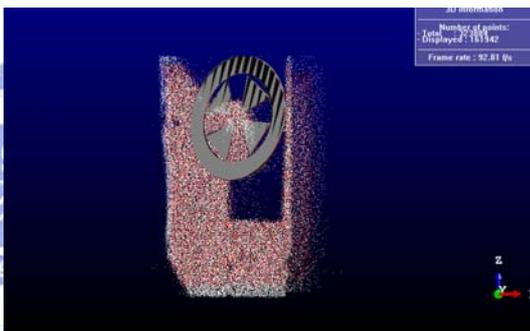


圖 3-29 遮蔽 $3/8$ 時的點雲成果

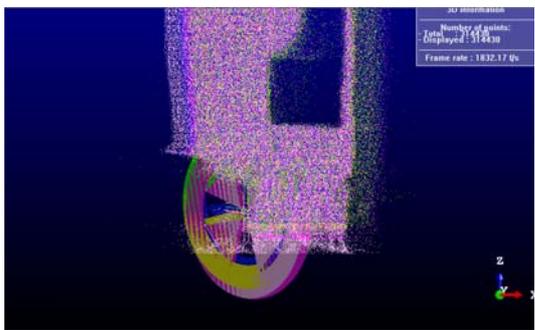


圖 3-30 遮蔽 $4/8$ 時的點雲成果

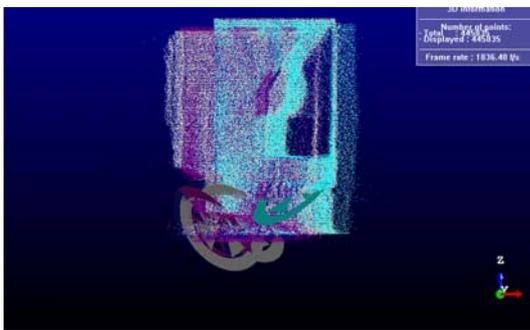


圖 3-31 遮蔽 $5/8$ 時的點雲成果

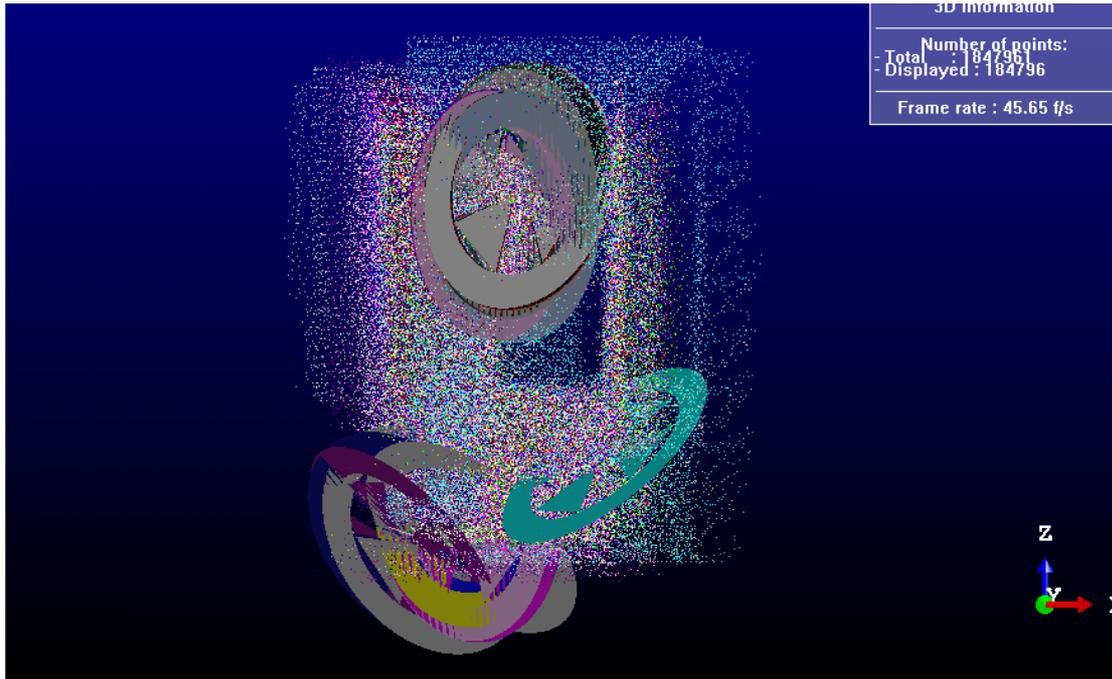


圖 3-32 所有點雲套合成果

表 3-5 是在不同遮蔽程度掃瞄得到的 target 中心三維座標、距離以及 STD 的整理表，表 3-6 則為以掃瞄無遮蔽的 target 得到的中心座標為基準時，與各種不同遮蔽情況下掃瞄得到的中心座標得差值，其差值 Δ 是以無遮蔽的減去有遮蔽後的。

表 3-5 不同遮蔽程度掃瞄得到的三維座標和距離值以及標準偏差(單位:公尺)

無遮蔽				
	x	y	z	distance
1	-19.035	-16.661	-0.213	25.297
2	-19.036	-16.662	-0.211	25.299
3	-19.036	-16.663	-0.211	25.299
4	-19.036	-16.664	-0.211	25.300
5	-19.035	-16.665	-0.211	25.300

AVG	-19.036	-16.663	-0.211	25.299
STD	0.001	0.002	0.001	0.001
遮蔽 1/8				
	x	y	z	distance
1	-19.025	-16.674	-0.212	25.299
2	-19.027	-16.672	-0.212	25.299
3	-19.027	-16.673	-0.212	25.299
4	-19.027	-16.674	-0.212	25.300
5	-19.025	-16.675	-0.212	25.300
AVG	-19.026	-16.674	-0.212	25.299
STD	0.001	0.001	0.000	0.001
遮蔽 2/8				
	x	y	z	distance
1	-19.028	-16.671	-0.199	25.299
2	-19.028	-16.671	-0.200	25.299
3	-19.028	-16.671	-0.200	25.299
4	-19.028	-16.672	-0.201	25.300
5	-19.026	-16.674	-0.201	25.299
AVG	-19.028	-16.672	-0.200	25.299
STD	0.001	0.001	0.001	0.000
遮蔽 3/8				
	x	y	z	distance
1	-19.023	-16.676	-0.198	25.298
2	-19.023	-16.677	-0.198	25.299
3	-19.023	-16.678	-0.198	25.299
4	-19.023	-16.677	-0.198	25.299
5	-19.023	-16.677	-0.197	25.299
AVG	-19.023	-16.677	-0.198	25.299
STD	0.000	0.001	0.000	0.000
遮蔽 4/8				
	x	y	z	distance
1	-19.046	-16.607	-0.350	25.272
2	-19.047	-16.607	-0.345	25.272
3	-19.048	-16.607	-0.340	25.273
4	-19.046	-16.609	-0.353	25.273

5	-19.049	-16.607	-0.352	25.274
AVG	-19.047	-16.607	-0.348	25.273
STD	0.001	0.001	0.005	0.001
遮蔽 5/8				
	x	y	z	distance
1	-19.045	-16.612	-0.362	25.275
2	-19.072	-16.577	-0.365	25.275
3	-19.073	-16.581	-0.363	25.275
4	-19.067	-16.589	-0.363	25.276
5	-18.983	-16.721	-0.323	25.299
AVG	-19.048	-16.616	-0.355	25.280
STD	0.038	0.060	0.018	0.011

表 3-6 不同遮蔽程度掃描成果與無遮蔽時成果的差值(單位:公尺)

	Δx	Δy	Δz	Δd
遮蔽 1/8	-0.009	0.011	0.001	0.001
遮蔽 2/8	-0.008	0.009	0.001	0.000
遮蔽 3/8	-0.013	0.014	-0.014	0.000
遮蔽 4/8	0.012	-0.056	0.137	0.026
遮蔽 5/8	0.012	-0.047	0.144	0.019

將表 3-5 整理出的遮蔽程度與 STD 的關係可繪出關係圖，即如圖 3-33 所示，圖 3-34 則是根據表 3-6 所繪出的關係圖。

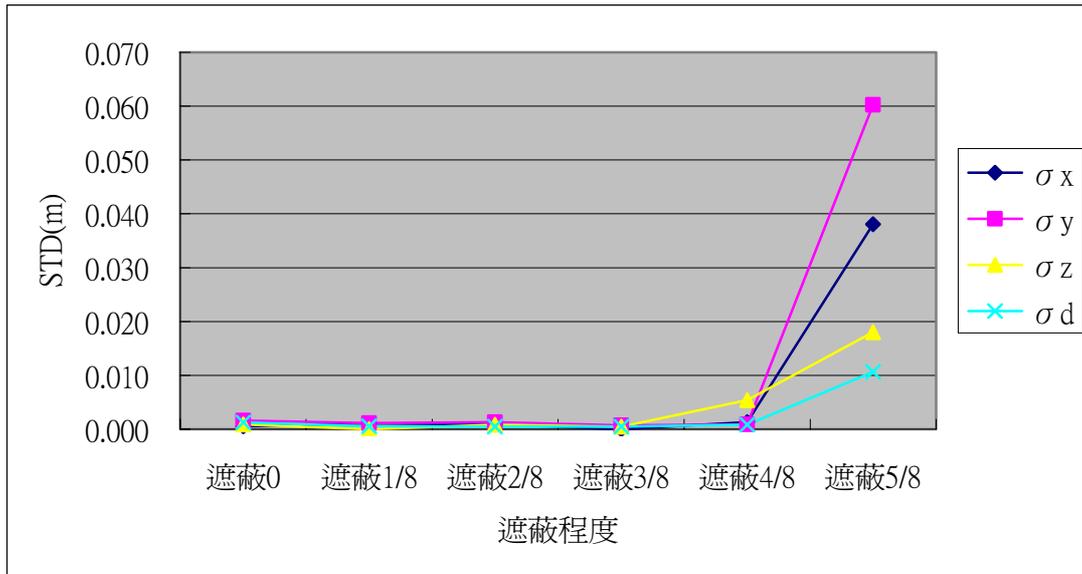


圖 3-33 遮蔽程度與 STD 的關係圖

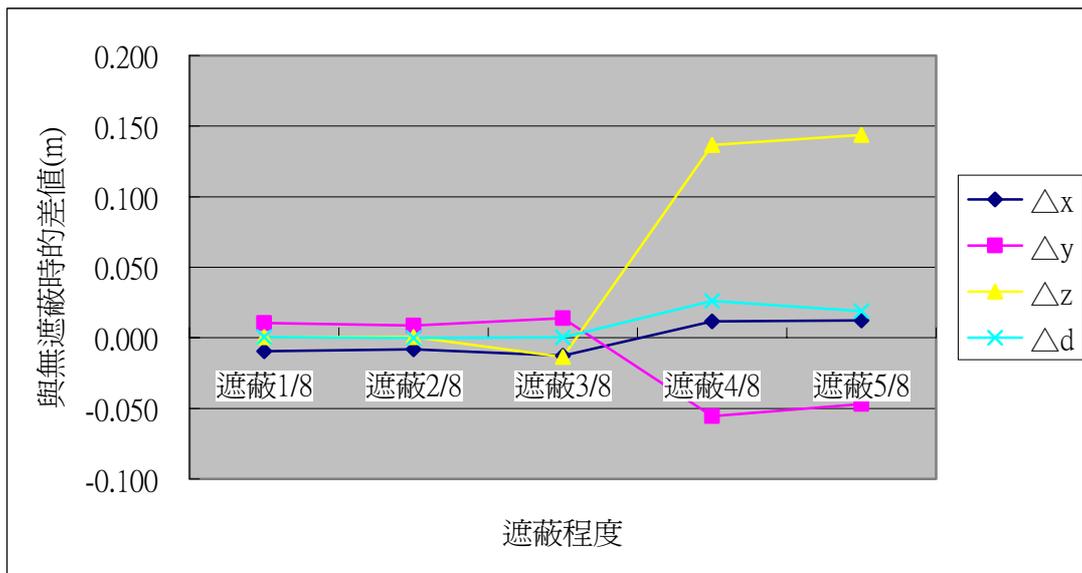


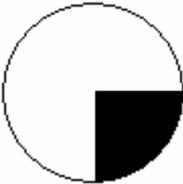
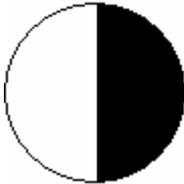
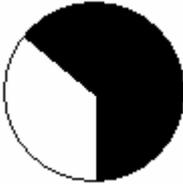
圖 3-34 遮蔽程度與差值的關係圖

由圖表可以看出，遮蔽程度對 target 中心定位結果影響甚大；在遮蔽少於 4/8，亦即遮蔽程度少於一半時，所得到的精確度和精密度和無遮蔽的情況下誤差約在 1 公分左右，而當遮蔽超過一半時，不論是 STD 或與無遮蔽時的差值更是大幅增加，尤其是達到遮蔽 5/8

時，其本身的標準偏差也以非常大的差異量增加；而在遮蔽程度超過 5/8 以上之後，則會因為 target 的可見度太低，掃瞄得到的點資料太少而無法判定出 target 的中心座標。

另外我們將三維的點位分解為二維，利用之前得到的差值 Δx 、 Δy 、 Δz 畫成在 XY 方向、YZ 方向以及 XZ 方向的點位分佈圖，分別如圖 3-35、3-36 與 3-37 所示，其中每一刻度為 0.01m，原點是無遮蔽情況下掃瞄得到的中心座標，各種不同遮蔽程度掃瞄得到的 target 中心座標在圖上的表示如表 3-7 所示：

表 3-7 代表符號示意圖

遮蔽程度	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8
代表符號					
示意圖 (黑色:遮蔽)					

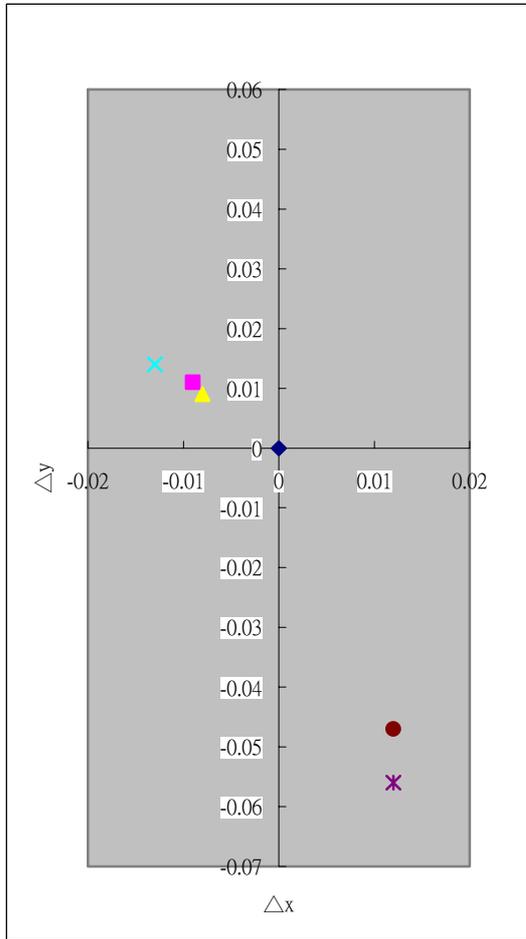


圖 3-35 XY 方向點位分佈

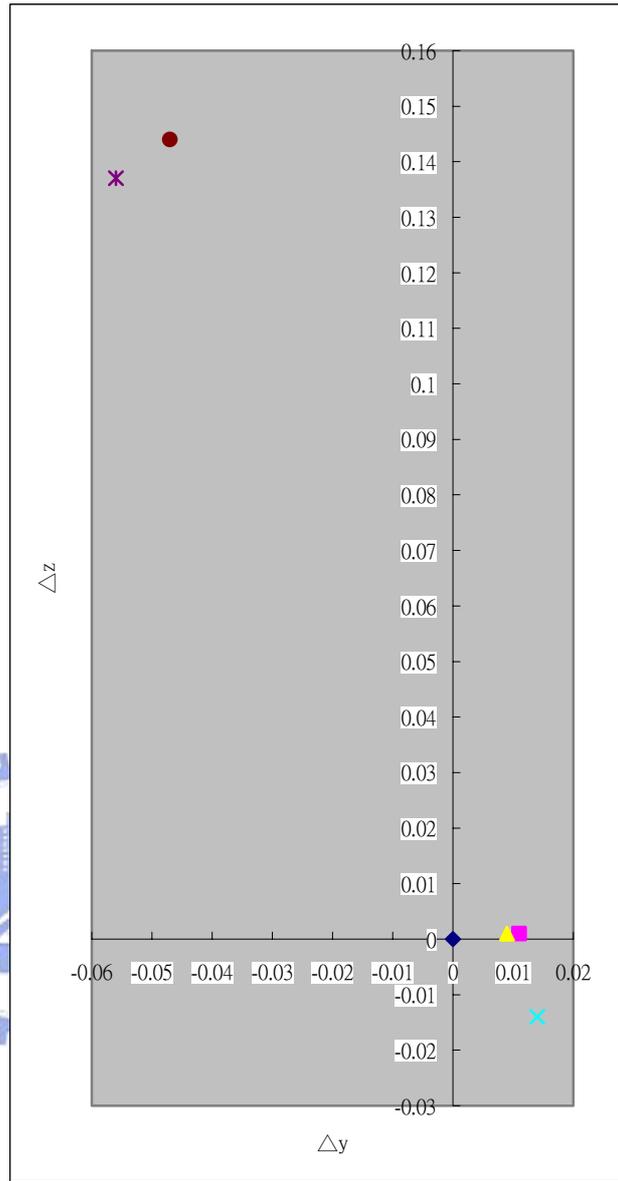


圖 3-36 YZ 方向點位分佈

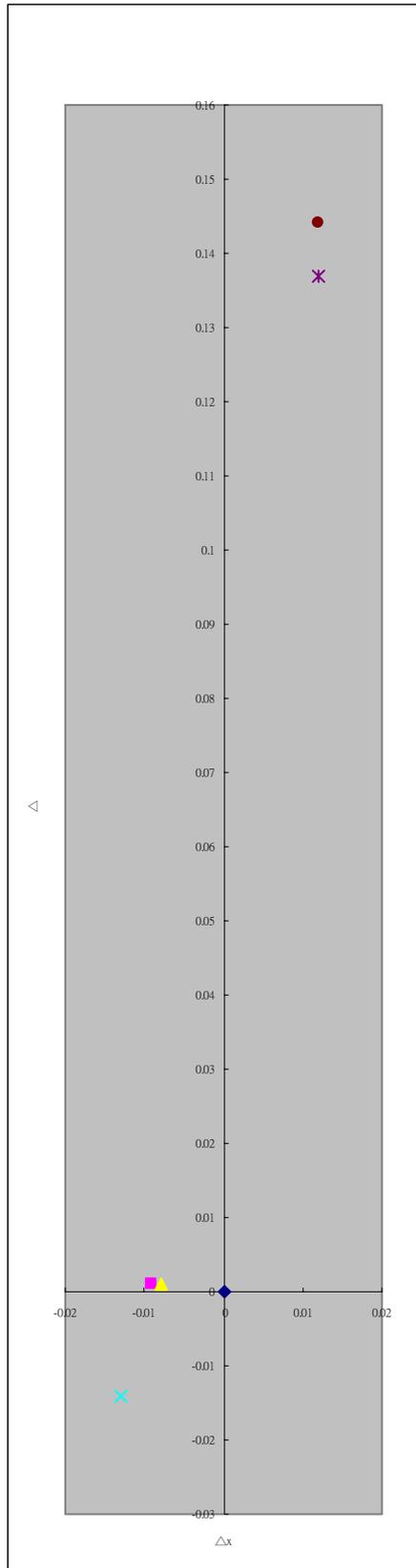


圖 3-37 XZ 方向點位分佈