

第 8 章 三次元レーザースキャナー計測

株式会社 地域みらい

1. はじめに

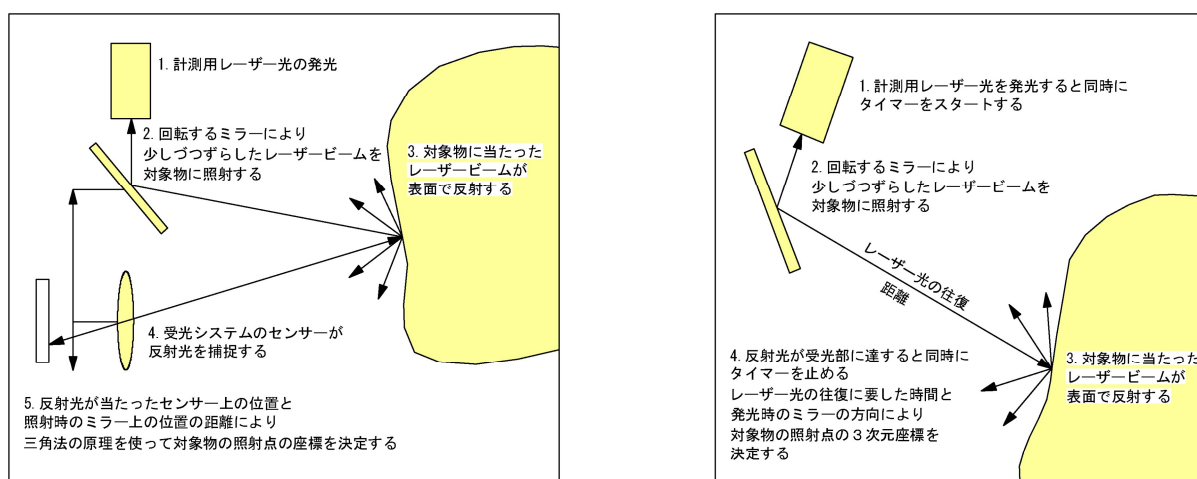
今回の発掘調査では、三次元レーザースキャナーを用いて調査区の計測を行い、得られた三次元データから平面図、土層図、断面図の作成を行った。限られた調査期間内での迅速かつ正確な計測、調査終了後における図面作成のためのデータ活用、報告書作成時に必要なデータの保存を目的として、三次元計測を行った。以下、計測から図面作成までの概要を述べる。

2. 三次元レーザースキャナーとは

三次元レーザースキャナーは、計測対象物の表面の形状を短時間で精密に計測できる優れた技術である。三次元レーザースキャナーの一般的な定義は、「対象物の三次元座標データを、自動的かつ規則的に、高速（1秒あたり数百ないし数千点）に、（ほとんど）リアルタイムに取得する機器」とされている。三次元レーザースキャナーの計測システムは、大まかに3方式に分かれる。それは、タイム・オブ・フライト方式、三角法方式、位相差方式の3方式である。

タイム・オブ・フライト方式とは、レーザー光の往復した時間と照射方向により、距離と角度を割り出して三次元データを取得する方式である。計測精度は、およそ1～10mmで、計測範囲は、おおむね2～200m、最近では最長2000m計測できるタイプもある。そのため、建築物や広範囲に及ぶ遺跡の計測に適している。タイム・オブ・フライト方式は、地球から月までの距離を求める際に使用された方式である。次に、三角法方式とは、三角形の辺の長さや角の大きさの関係を用いた手法である。この方式のスキャナーは、比較的小さな対象物の計測に適している。0.1mm以下の計測精度を持つ。最新のものでは0.04mmの計測精度のものもある。計測範囲は、およそ0.1～2mの範囲に限られる。レプリカの作成に用いられるスキャナーのほとんどは、この三角法方式である。位相差方式は、レーザーの発光時と受光時の位相差により距離を算出する方式であり、タイム・オブ・フライト方式と同程度の性能を持つ。現在、多くのトータルステーションに採用されている方法である。

大まかにではあるが、三次元レーザースキャナーとその方式について述べた。今回使用した三次元レーザースキャナーは、タイム・オブ・フライト方式と三角法方式のスキャナーである。



『イングリッシュ・ヘリテージ』「文化遺産のレーザー計測（日本語版）」（2007）より引用して改変

図 1 三次元レーザースキャナーの計測システム（左は三角法方式・右はタイム・オブ・フライト方式）

3. 計測

調査区全体の三次元計測に使用したレーザースキャナーは、ニコン・トリンプル社製の地上型中距離レーザースキャナー・GS200である。タイム・オブ・フライト方式を採用している。計測範囲は、機器より概ね2～200mであり、水平方向に360°、鉛直方向に60°の回転が可能である。計測精度は、およそ1～10mmである。取得した点群データは、XYZ座標と色情報（Red・Green・Blue）により構成される。

5号炉の詳細な計測に使用したレーザースキャナーは、コニカ・ミノルタ社製の近距離型三次元デジタイザ・VIVID9iである。三角法方式を採用し、計測範囲はおよそ0.5～2.5mである。付属のレンズを換える事で、0.05～0.2mmまでの精度での計測が可能である。付属のカメラレンズを用いたカラーデータの取得も可能である。

三次元計測は、平成18～21年度にかけて、4ヶ年に渡って実施した。以下、年度ごとに行った計測の概要と得られた成果について述べる。作成した図面については本概報掲載の各図を参照していただきたい。

①平成18年度計測

計測は、8月24日と9月5～6日、10月11～12日の5日間行った。第11次調査の発掘行程と平行して、第1層～第3層の計測を行った。計測した層位ごとのデータを合成し、三次元層位データとして保存すると共に、層位ごとの平面図の作成を行った。

計測時には高所タワーを利用する事で死角を減らし、より計測漏れの少ない三次元データ作成を心掛けた。計測間隔は、10m先で約30mm、マルチショット数は8ショットである。

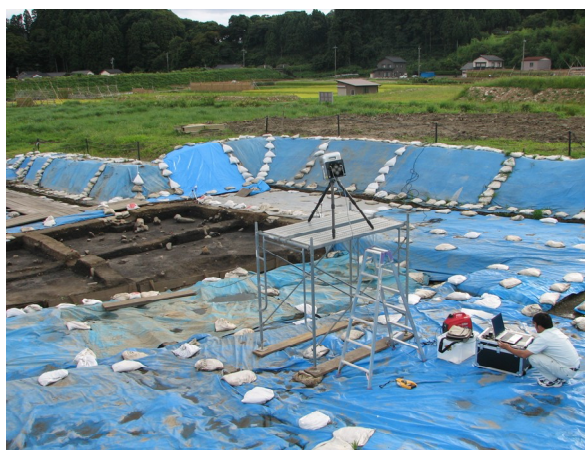


写真1 遺構全体の計測

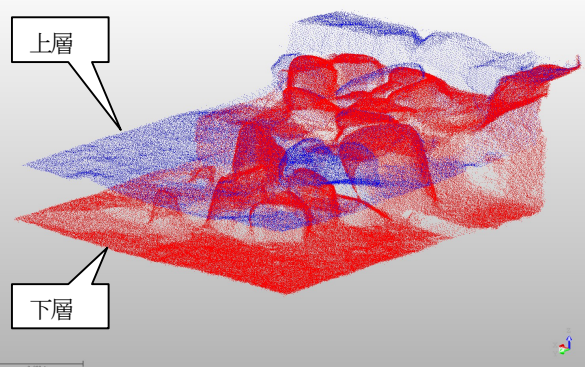


図2 三次元層位データ

②平成19年度計測

計測は、9月24日と10月30日の2日間行った。第12次調査に伴い、前年度計測範囲を補完する形で、周辺と石囲いの5号炉の計測を行い、詳細な平面図の作成を行った。

調査区全体の計測は、前年度と同様に高所タワーを利用して計測した。

5号炉の計測では、比較的狭い範囲を綿密に計測するため、計測間隔を5mm以下に設定し、マルチショット数も16ショットに増やして計測を行った。



図3 調査区全景鳥瞰図

③平成 20 年度計測

計測は、8月11日と9月29日、10月20日と25日の4日間行った。第13次調査に伴い、前年度に引き続き、調査区全体の計測と全景検出後の5号炉とその下層の6号炉の計測を行った。及び、土層の計測を行い、撮影した土層の写真を三次元データへ貼り付け、土層図の作成も行った。



写真2 5号炉の計測



写真3 6号炉の計測

5号炉の詳細な計測は、近距離型の三次元デジタイザ・VIVID9iを使用して計測を行った。計測は、日中の直射日光を避けるため、夜間に行った。VIVID9iは、本来暗所での使用に不向きなため、周囲からライトを照らし、十分な明るさを確保した上で計測を行った。付属レンズは、0.1~0.2mm精度のワイドレンズと0.2~0.4mm精度のミドルレンズを使用した。マルチショット数は、6~10ショットに設定した。計6方向からの計測を行った。

得られたデータと前年度までに取得したデータを合成し、調査区全体における5号炉の位置情報を付与した。また、点データ同士を線で結び、三角網を形成してできた面データに写真を貼り付け、立体画像を作成した。

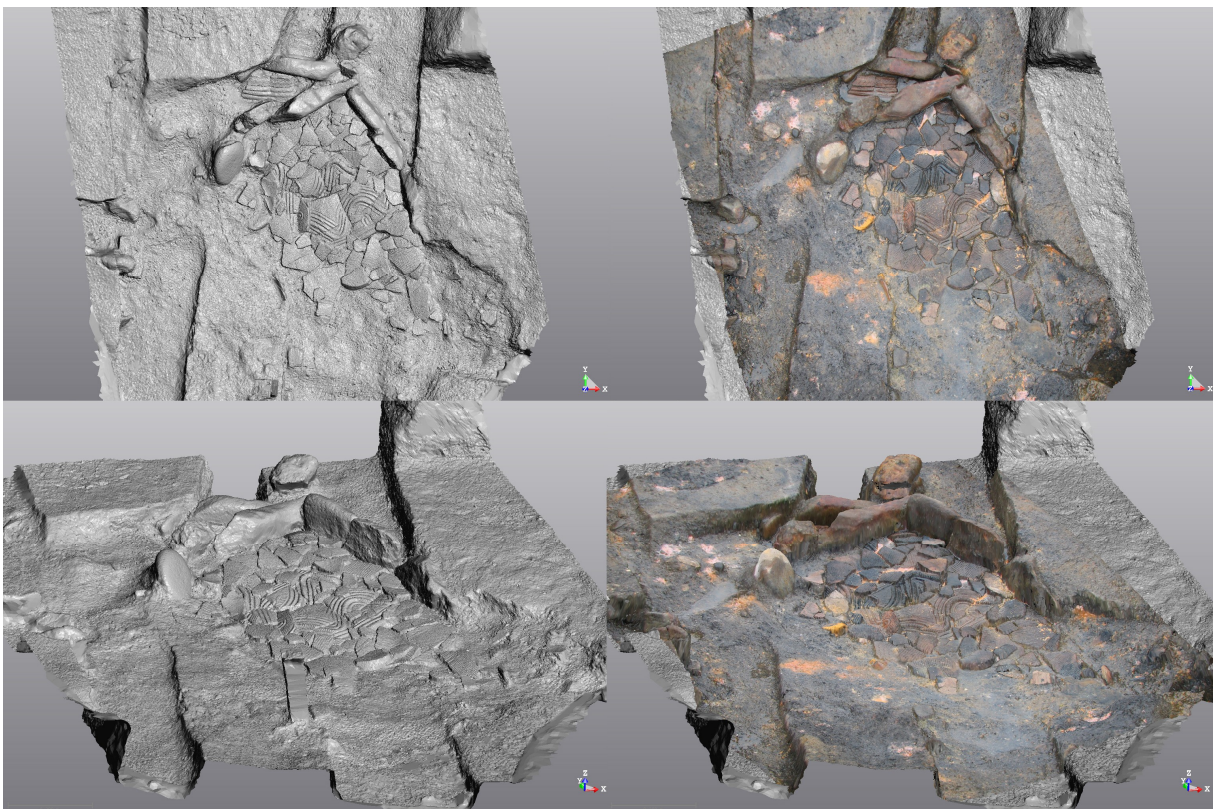


図4 5号炉の三次元画像（左は面データ・右は写真貼り付け後）

6号炉の計測は、中距離型の三次元レーザースキャナー・GS200を使用して計測し、三次元データと写真を合成し、立体画像を作成した。計測間隔は、4m先で1mmに設定し、マルチショット数を16ショットに設定した。レーザーの届かない死角になる箇所に関しては、鏡面を利用して計測を行った。タイム・オブ・フライト方式の計測器は、レーザー光の反射を利用して対象物の位置情報を取得するため、水面や光沢のある面は反射率が一定ではないために計測が難しい。そこで、逆にその性質を利用して、鏡面を用いて死角となる箇所を計測し、データを取得するという方法も可能である。

得られた点群データから面データを作成し、ターゲットポイントを基準に写真を貼り付けた。

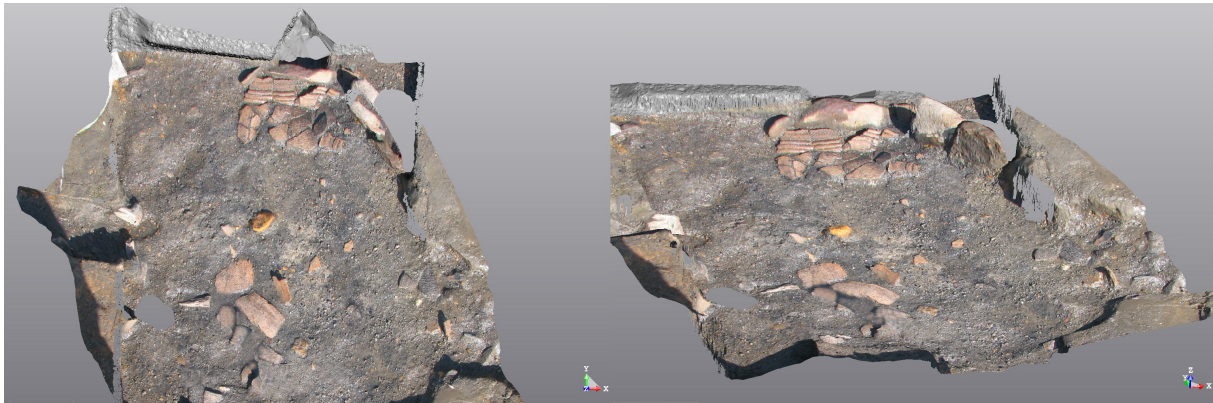


図5 6号炉の三次元画像（写真貼り付け後）

土層の計測では、GS200を使用して計測を行った。計測間隔は、5m先で4mmに設定し、マルチショット数は16ショットに設定した。なるべく土層面に対して垂直になるように計測器を設置して計測を行った。

取得した点データから三角網を形成し、面データの作成を行った。土層断面上に設置したターゲットポイントを基準に、面データと写真データをマッチングさせ、立体画像を作成する。この立体画像には、標高や縮尺といった土層図の作成に必要な情報が含まれている。

こうして作成した立体画像上に、セクションポイントを基準に投影面を設定し、二次元の画像として外部へ出力した。その画像を、図面作成ソフト上で写真等を参考にしながらトレースして仕上げた。作成した土層図は、本概報掲載の土層図を参照していただきたい。

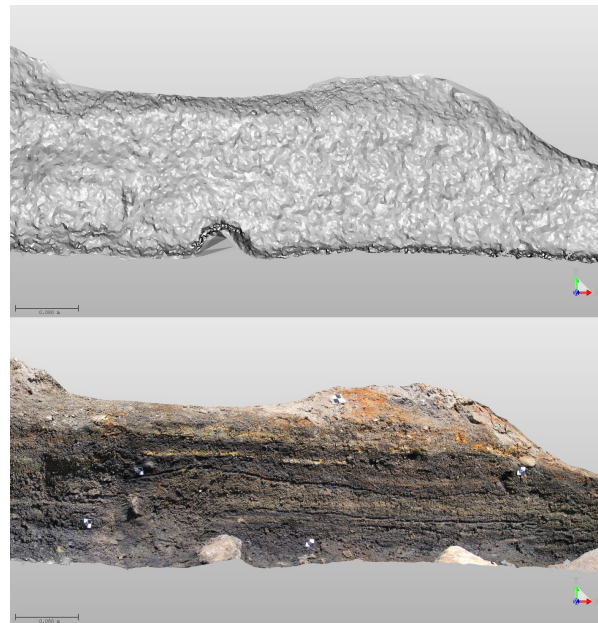


図6 土層断面の計測

④平成21年度計測

計測は、9月18日の1日間行った。第14次調査に伴い、晩期の環状大溝の計測を行った。計測間隔は、10m先で10mm、マルチショット数は16ショットに設定した。配石の死角となる部分の計測漏れがなるべく出ないように、4方向から計測を行った。取得したデータを元に平面図を作成し、また、配石ごとに頂点の標高を算出し、環状大溝の傾きを検証した。

4. まとめ

昨今、遺跡における三次元レーザースキャナーの使用は、それほど真新しいものではなくてきている。遺跡の図化だけでなく、遺物のレプリカ作成にも三次元計測の技術が取り入れられるようになってきている。そこで、今回行った三次元計測を例に、埋蔵文化財調査における三次元計測の利活用と展望について述べる。

真脇遺跡での三次元レーザースキャナー計測は、主に平面図、断面図、土層図の作成、及び重要な遺構の三次元デジタルデータ保存を目的として4ヶ年に渡り実施してきた。毎年、調査期間の夏から秋にかけて合計12日間計測を行ってきた。調査と平行し、継続して計測を行う事で、トレンチや遺構の位置情報等を同一のデータとして保存する事ができた。仮に今後、現地に遺構の復元等をする事になったとしても、三次元データから形状と座標値を取得する事ができる。また、二次元図化に関しても、同一人物が作成した事により、データ管理や遺構の描き方を同じ基準で作成する事ができた。掘り下げた層ごとに計測を行った事で、層位の堆積や広がり、線ではなく面として把握できた事は大きな成果であった。

三次元レーザーによる計測では、対象の形状そのものを計る事が可能である。計測したデータには誇張も謙遜もなく、対象の形がそのまま記録される。そのため、計測したデータには普遍性がある。つまり、計測の方法さえ同じであれば、誰がやっても均一のデータが取得できるという事だ。これは、遺跡調査における記録情報の均一性という点で非常に有意義な事であり、図面の優劣が描く人の知識や技量に左右される現地実測との大きな相違点である。もちろん二次元の図面よりも三次元のデータが優れているというのは極論である。二次元の図面には、描く人が対象から読み取った様々な情報が記録される。対象物の特徴を明確にするための表現であったり、対象の属性を表す記述であったり、反対に不要な情報を排除したりする事ができる。そのため、出来上がった図面に含まれる情報は、描く人によって左右される。それに対して三次元のデータは、レーザースキャナーが決められたプログラムにより機械的に取得した情報であり、不要な情報も多く含まれ、逆に目に見えない情報は含まれない。つまり、実物以上でも実物以下でもない。

埋蔵文化財調査では、多くが記録保存という形で行われており、発掘期間終了後には遺跡は破壊されてしまう。そのために発掘期間中にいかに多くの情報を記録できるかが重要になってくる。三次元レーザースキャナーの使用は、広範囲を短時間で計測できるという大きなメリットを持っている。しかしながら、計測してそれで良いのではない。前述のように、二次元図化と三次元計測では、同じ測るという作業でも性格が異なってくる。発掘調査担当者は、計測機器の性能と限界、三次元計測の有用性を理解し、計測技師は、三次元データからより多くの情報を引き出せるように、遺跡調査における記録保存の意味とそのために必要な情報を理解していかなければならない。

5. おわりに

4ヶ年に渡る計測を行う上で、非常に多くの方々にご協力いただいた。特に、能登町教育委員会生涯学習課の高田秀樹氏には、現地での三次元計測をはじめ、長期に渡り数々の便宜を図っていただいた。さらに、このような場を与えていただいた事に深く感謝したい。また、現地での諸作業にご助力いただいた作業員、学生の方々に深く感謝する。文章を作成するにあたっては、以下の文献を参考にした。

(大島孝博)

(社)日本測量協会『THE JOURNAL OF SURVEY 測量 No. 662』「文化財の三次元計測とその利用」2006年
デイヴィッド・ジョーンズ『イングリッシュ・ヘリテージ』「文化遺産のレーザー計測(日本語版)」2007年

表1 三次元計測データ一覧

計測箇所	器械点	計測回数	計測箇所	計測時間 (m)	焦点距離 (m)	設定距離 (m)	計測ピッチ (mm)	マルチ ショット数	取得点数	器械点別 合計点数	計測年度 合計点数	備考		
平成18年度	060824-1	1	第1層	6	50.0	100.0	0.0	4	868,225	868,225	21,928,318	高所タワー使用		
	060824-2	1	第1層	4	50.0	100.0	0.0	4	647,370	855,609		高所タワー使用		
		2	第1層	3	50.0	100.0	300.0	8	208,239				高所タワー使用	
	060824-3	1	第1層	4	50.0	100.0	0.0	4	643,887	871,456		高所タワー使用		
		2	第1層	3	50.0	100.0	300.0	8	227,569				高所タワー使用	
	060905-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	データ未使用	
	060905-2	1	第2層	13	15.0	100.0	0.0	8	1,974,196	1,974,196		高所タワー使用		
	060905-3	1	第2層	18	10.0	100.0	0.0	8	3,525,390	3,525,390		高所タワー使用		
	060906-1	1	調査区外	2	10.0	100.0	300.0	4	184,691	2,627,756		テスト計測		
		2	第2層	16	10.0	100.0	300.0	8	2,443,065				高所タワー使用	
	060906-2	1	第2層	10	5.0	100.0	0.0	8	1,425,294	1,425,294		高所タワー使用		
	060906-3	1	第2層	6	5.0	100.0	0.0	8	601,694	601,694		高所タワー使用		
		1	第3層	10	30.0	100.0	300.0	12	1,271,573	1,893,150		高所タワー使用		
	061011-1	2	調査区全体	7	24.0	100.0	300.0	1	621,577				高所タワー使用	
		1	第3層	11	18.0	100.0	300.0	12	1,427,142	1,798,166		高所タワー使用		
	061011-2	4	調査区全体	4	18.0	100.0	300.0	1	371,024				高所タワー使用	
		1	調査区全体	2	25.0	100.0	300.0	1	176,862	1,986,530		高所タワー使用		
	061011-3	2	調査区全体	2	25.0	100.0	300.0	1	199,172				高所タワー使用	
		3	第3層	12	25.0	100.0	300.0	12	1,610,496				高所タワー使用	
		1	調査区全体	4	20.0	100.0	300.0	1	362,057	1,521,551		高所タワー使用		
	061011-4	2	第3層	11	20.0	100.0	300.0	12	1,159,494				高所タワー使用	
	1	第3層	1	6.0	100.0	300.0	12	68,413	415,204	高所タワー使用				
061012-1	2	第3層	3	5.0	100.0	300.0	12	308,826			高所タワー使用			
	3	第3層	1	10.0	100.0	0.0	12	37,965			高所タワー使用			
	1	第3層	2	13.0	100.0	300.0	12	189,164	963,517	高所タワー使用				
061012-2	2	第3層	9	15.0	100.0	300.0	12	774,353			高所タワー使用			
061012-3	1	第3層	7	12.0	100.0	300.0	12	600,580	600,580	高所タワー使用				
平成19年度	070924-1	1	調査区外	9	7.0	100.0	30.0	6	341,342	6,909,054	9,446,143	テスト計測		
		2	5号炉	46	19.3	20.0	2.0	8	1,888,547				高所タワー使用	
		3	5号炉	55	16.4	16.5	2.0	8	2,332,722				高所タワー使用	
		4	5号炉	57	11.6	11.6	2.0	8	2,346,443				高所タワー使用	
	071030-1	1	5号炉	12	14.0	14.0	5.0	16	300,772	537,791				
		2	トレンチ	8	8.0	8.0	5.0	8	237,019					
	071030-2	1	5号炉	11	18.0	18.0	5.0	16	259,993	605,342				
		2	トレンチ	11	18.0	8.0	5.0	8	345,349					
	071030-3	1	トレンチ	16	11.0	11.0	5.0	8	627,029	754,589				
		2	5号炉	6	20.0	20.0	5.0	16	127,560					
071030-4	1	トレンチ	11	24.0	24.0	5.0	8	438,196	639,367					
	2	5号炉	9	10.0	11.0	5.0	16	201,171						
平成20年度	080811-1	1	土層全体	16	6.0	5.3	4.0	16	290,843	355,999	10,246,417			
		2	土層詳細	5	6.0	5.4	2.0	16	65,156					
	080811-2	1	土層全体	20	5.0	4.6	4.0	16	290,054	346,934				
		2	土層全体	3	8.0	4.6	4.0	16	51,721					
		3	土層詳細	1	8.0	2.8	3.0	16	5,159					
	080811-3	1	土層詳細	4	4.4	4.4	4.0	16	62,915	62,915				
		1	土層詳細	2	4.4	4.9	4.0	16	28,917					
	080811-4	2	土層詳細	3	4.4	3.0	3.0	16	45,088	101,940				
		3	土層詳細	2	4.4	4.4	3.0	16	27,935					
	080929-1	1	5号炉	-	-	1.0	0.2	6	-	1,507,432		2,855,284	VIVID9i(wide)	
		2	5号炉	-	-	1.0	0.2	7	-					VIVID9i(wide)
		3	5号炉	-	-	1.0	0.2	6	-					VIVID9i(wide)
		4	5号炉	-	-	1.0	0.2	6	-					VIVID9i(wide)
		5	5号炉	-	-	1.0	0.2	6	-					VIVID9i(wide)
		6	5号炉	-	-	1.0	0.1	10	1,347,852					VIVID9i(middle)
	081020-1	1	調査区全体	29	20.0	20.0	5.0	8	1,129,476	1,129,476		高所タワー使用		
	081020-2	1	調査区全体	30	20.0	20.0	4.0	8	973,952	973,952		高所タワー使用		
	081020-3	1	調査区全体	27	13.0	13.0	5.0	8	1,008,760	1,290,647		高所タワー使用		
		2	5号炉	14	13.0	13.1	1.0	20	281,887				高所タワー使用	
		1	調査区全体	30	12.0	11.2	5.0	8	1,106,592	1,447,909		高所タワー使用		
081020-4	2	5号炉	14	12.0	11.2	1.0	20	273,772			高所タワー使用			
	3	5号炉	4	12.0	11.2	1.0	20	67,545			高所タワー使用			
	1	トレンチ	1	3.0	2.4	3.0	8	10,675	320,269					
081020-5	2	トレンチ	1	3.0	4.0	3.0	8	17,744						
	3	5号炉	10	6.0	6.0	1.0	20	189,857						
	4	トレンチ	2	8.0	8.5	3.0	4	50,703						
	5	トレンチ	3	8.0	3.4	4.0	8	51,290			鏡面使用			
081020-6	1	5号炉	1	6.0	6.0	5.0	8	12,910	22,731					
	2	5号炉	1	6.0	7.0	4.0	8	9,821						
081025-1	1	6号炉	37	8.0	4.0	1.0	16	844,820	1,338,361					
	2	6号炉	23	8.0	5.0	1.0	16	493,541			鏡面使用			
平成21年度	090918-1	1	環状大溝	7	29.0	23.1	10.0	8	194,820	3,625,579	6,464,496			
		2	環状大溝	13	20.0	17.9	5.0	8	486,696					
		3	環状大溝	6	15.0	8.5	10.0	8	178,878					
		4	調査区全体	2	30.0	25.4	50.0	4	10,821					
		5	調査区全体	2	15.0	9.6	50.0	4	9,676					
		6	調査区全体	2	15.0	11.6	50.0	4	8,106					
		7	調査区全体	1	8.0	2.7	50.0	4	498					
		8	調査区全体	18	20.0	33.8	20.0	1	2,736,084					
	090918-2	1	環状大溝	7	20.0	14.4	5.0	8	240,210	1,391,446		高所タワー使用		
		2	環状大溝	8	23.0	17.8	5.0	8	282,513				高所タワー使用	
		3	環状大溝	4	26.0	21.2	10.0	8	101,968				高所タワー使用	
		4	環状大溝	9	15.0	10.1	10.0	8	269,110				高所タワー使用	
		5	調査区全体	13	20.0	13.8	20.0	4	497,645				高所タワー使用	
	090918-3	1	環状大溝	11	13.0	7.8	5.0	8	358,611	695,626		高所タワー使用		
	2	環状大溝	5	19.0	13.9	10.0	8	113,774			高所タワー使用			
	3	環状大溝	9	12.0	6.6	10.0	8	223,241			高所タワー使用			
090918-4	1	環状大溝	21	11.0	6.1	5.0	8	751,845	751,845	高所タワー使用				
合計	37	87		843				48,085,374	48,085,374	48,085,374				

※機器名無しはGS200