

30. ステレオビジョンによる建設機械物体認識の研究

株式会社 演算工房：○高屋 英永、藤田 裕司、笠島 尚志

はじめに

建設施工と建設機械の合理化及び品質確保を目的として、以前より建設機械自動化の研究が進められており既に一部実用化されつつある。特に近年は熟練技術者の減少により、自動化或いは数値化に基づく支援装置の要求が高まってきているといえる。建設機械は、「劣悪な使用環境」、「日々の施工により変化する対象物」といった点が、一般機械の自動化と比較して困難な課題である。例えば、従来の油圧ショベルの自動化、掘削支援システムを例に挙げた場合、油圧ショベル本体に GPS と傾斜センサ、ブーム及びアームに角度センサ、バケットにストロークセンサを装着するのが一般的である。しかしながらこれらの方法には、センサ類を取り付ける為の特別な改造を必要とし専用機械として高価なものになる。また各センサの誤差が累積或いは経時変化による間接部分の摩耗、がた・ブームのしなりが発生し、要求精度が得られないといった諸問題が発生する事が考えられる。そこで油圧ショベル本体に取り付けた、2眼もしくは3眼のステレオカメラシステムを使い撮影・画像処理を行う事で、バケットの3次元位置・向きを直接計測し、上記の諸問題を解決しようと試みた。その第一ステップとして、独立行政法人産業技術総合研究所3次元視覚システム研究グループとの共同研究にて、以下の研究、試験をおこなった。

研究内容

3次元視覚システム研究グループが開発した高機能3次元視覚システム(VVV)をベースに、画像間の微妙な輝度変化に対応する処理、また対応しきれない場合にはノイズとして自動的に除外する処理を組み込むことで解の安定を図った。この処理は、

外乱の影響が著しい屋外計測に有効と思われる。

試験方法

形状認識をする為には予め対象物の形状モデルを構築する必要があるが、計測環境に応じた最適なモデル形状を求める試験

と掘削面形状計測の精度を求める試験をおこなった。まず作業中の油圧ショベルのバケットを計測する事を想定した様々な角度からの計测试験と、バケットの一部が障害物に隠れた場合の計测试験を室内、屋外にて実施した。また、掘削面形状計測は、同様のカメラを用いて3次元計測をおこない体積計算をおこなう事で、理論値との誤差を求める事とした。

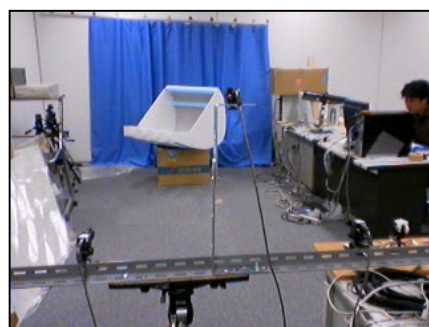


図1 室内試験風景

試験1

製作したバケット模型を想定される姿勢で静止させ(正面、斜め右、後

ろ、上) 同じ条件で100回繰り返して計測を行い、繰り返し計算精度を求めた。

	モデル1	モデル2
正面	ケース1	ケース2
右斜め	ケース3	ケース4
後ろ	-	ケース5
上	-	ケース6

表1 試験ケース

条件：被写体までの距離 約 4.0~5.0m

カメラ間距離横方向 1m、縦方向 0.5m

3眼カメラ

使用したカメラ：Point Grey Research Flea XGA

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
認識率(%)	100	95	99	97	94	93
$\sigma x(\text{mm})$	5.16	3.93	1.73	5.89	4.86	5.08
$\sigma y(\text{mm})$	6.88	3.99	3.34	2.09	5.23	7.86
$\sigma z(\text{mm})$	4.12	4.18	1.32	2.55	3.44	8.02

表2 試験結果

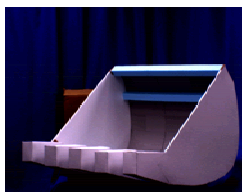


図2 バケット模型

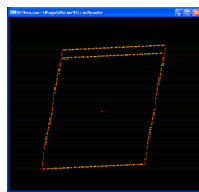


図3 モデル1

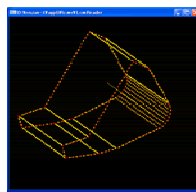


図4 モデル2

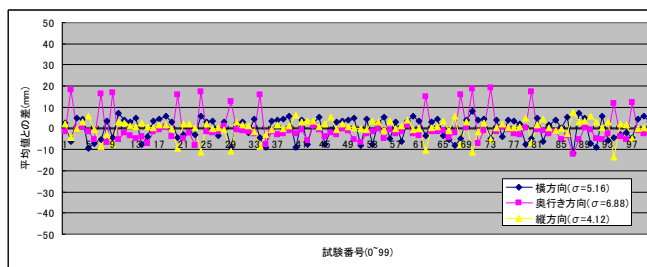


図5 繰り返し計算精度 (ケース1)

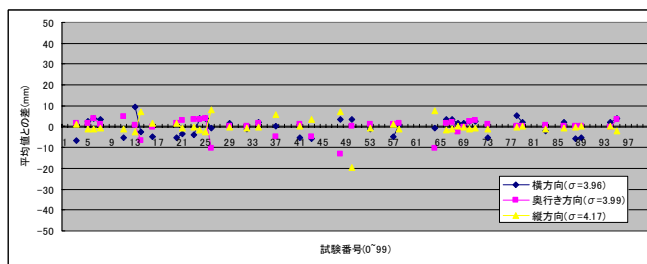


図5-1 繰り返し計算精度 (ケース2)

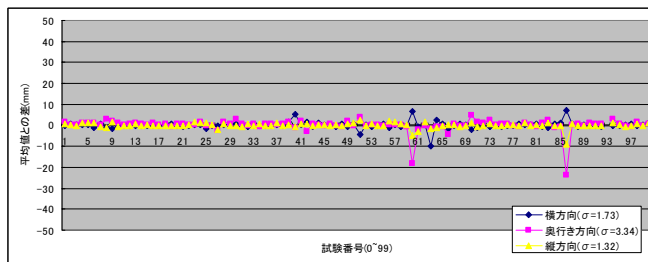


図5-2 繰り返し計算精度 (ケース3)

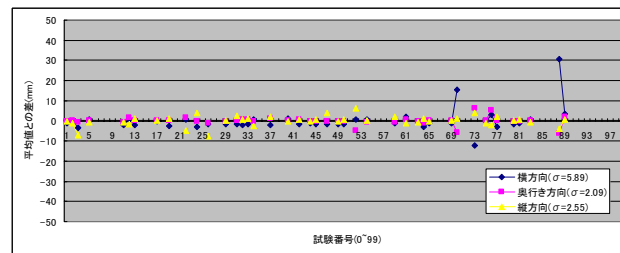


図5-3 繰り返し計算精度 (ケース4)

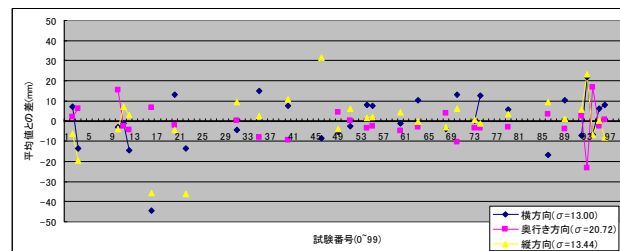


図5-4 繰り返し計算精度 (ケース5)

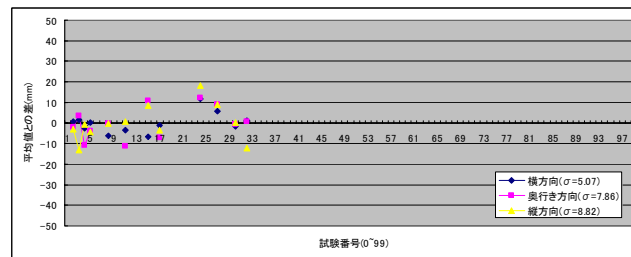


図5-5 繰り返し計算精度 (ケース6)

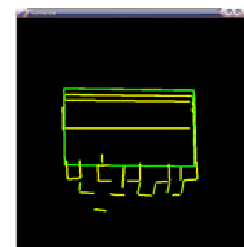
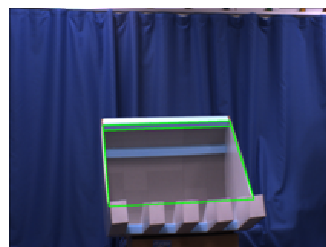


図6, 7 正面画像と正常認識の様子 (緑線が認識結果)

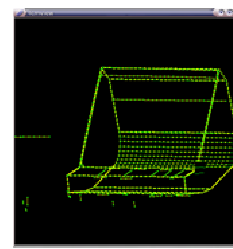
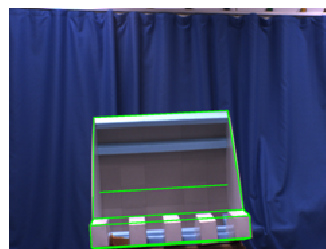


図8, 9 正面画像と正常認識の様子 (緑線が認識結果)

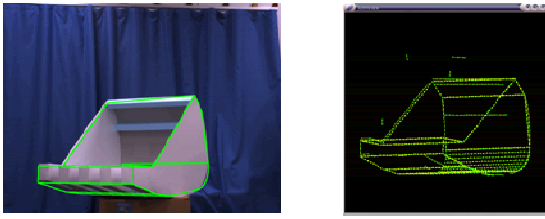


図 10, 11 正面画像と正常認識の様子(緑線が認識結果)

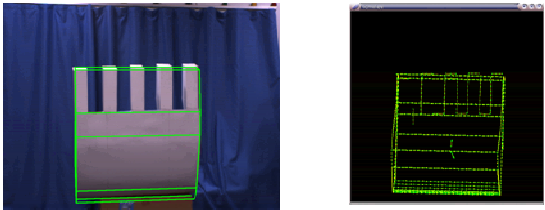


図 12, 13 正面画像と正常認識の様子(緑線が認識結

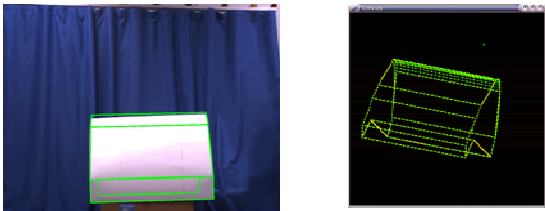


図 14, 15 正面画像と正常認識の様子(緑線が認識結

結果

室内試験においては平面モデル、立体モデル共に90%以上の認識率であった。室内にてバケット形状が全て視認できる場合には平面モデル、立体モデルどちらでも問題ない事が確認できた。

試験2

製作したバケツ
ト模型の一部を
隠し、同じ条件で
100回繰り返
して計測を行い、繰り返し計算精度を求めた。

	モデル1	モデル2
つめ隠れ	ケース1	ケース2
半分隠れ	ケース3	ケース4

表 3 試験ケース

条件：被写体までの距離 約 4.0~5.0m

カメラ間距離横方向 1m、縦方向 0.5m

3眼カメラ

使用したカメラ：Point Grey Research Flea XGA

	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
認識率(%)	84	85	51	81
$\sigma x(\text{mm})$	3.83	7.53	2.11	4.54
$\sigma y(\text{mm})$	3.92	4.32	0.59	2.11
$\sigma z(\text{mm})$	5.00	6.12	0.66	3.26

表 4 試験結果

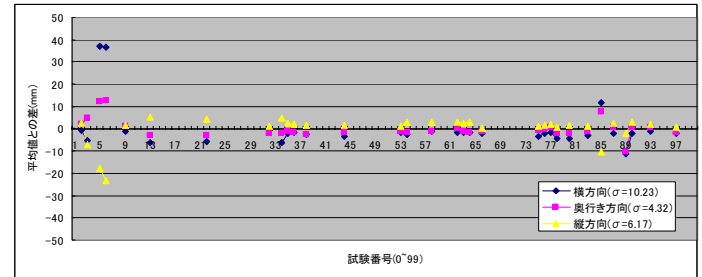


図 16 繰り返し計算精度 (ケース 1)

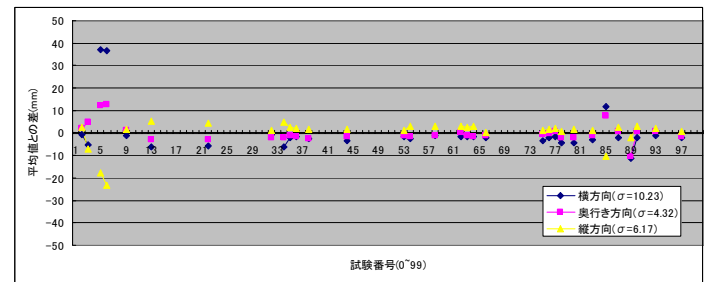


図 16-1 繰り返し計算精度(ケース 2)

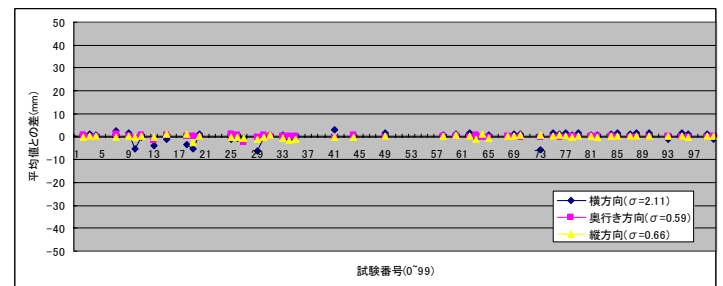


図 16-2 繰り返し計算精度 (ケース 3)

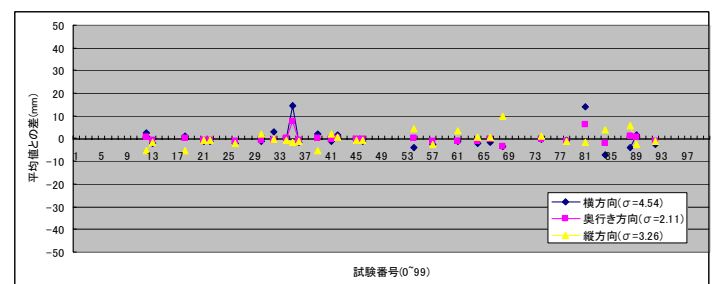


図 16-3 繰り返し計算精度 (ケース 4)

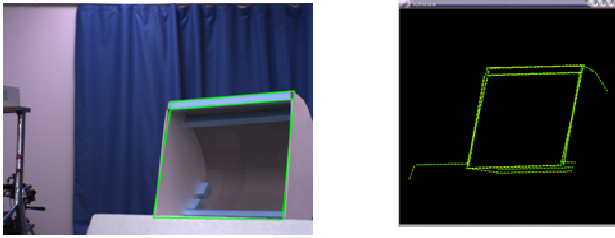


図 17, 18 正面画像と正常認識の様子（緑線が認識結果）

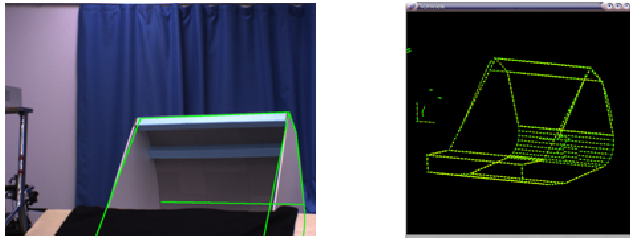


図 19, 20 正面画像と正常認識の様子（緑線が認識結果）

結果

バケットの一部が隠れた場合には認識率が80%近くまで低下した。平面モデルと比較し立体モデルの認識率は高く、バケットの一部が隠れる場合には立体モデルが有効である。

試験3

屋外において、室内試験で使用した2種類のモデルを用いて右斜め、左斜めから同じ条件で100回繰り返して

計測を行い、繰り返し計算精度を求めた。

	モデル1	モデル2
右斜め	ケース1	ケース2
左斜め	ケース3	ケース4

表5 試験ケース

条件：被写体までの距離 約5.0~7.0m

カメラ間距離横方向1m、縦方向0.5m

3眼カメラ

使用したカメラ：Point Grey Research Flea XGA

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
認識率(%)	12	95	19	95
$\sigma x(\text{mm})$	2.07	5.40	10.83	5.40
$\sigma y(\text{mm})$	2.46	3.17	6.81	3.17
$\sigma z(\text{mm})$	2.63	1.93	5.99	1.93

表6 試験結果

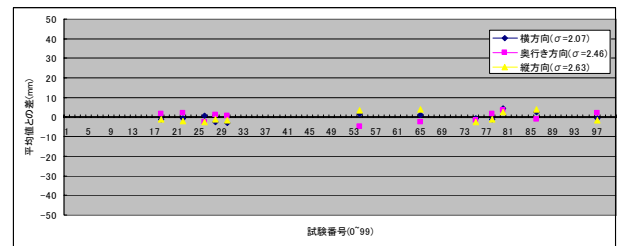


図 20-1 繰り返し計算精度（ケース1）

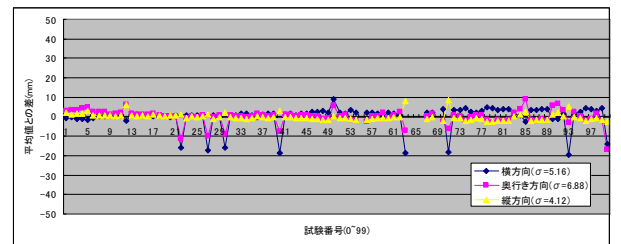


図 20-2 繰り返し計算精度（ケース2）



図 21 屋外試験風景

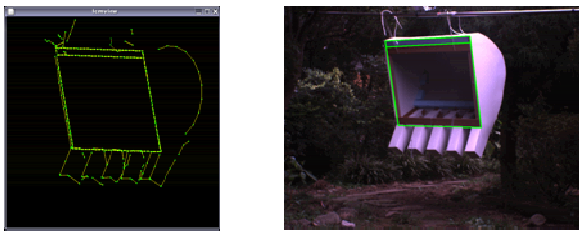


図 22, 23 正面画像と正常認識の様子（緑線が認識結果）

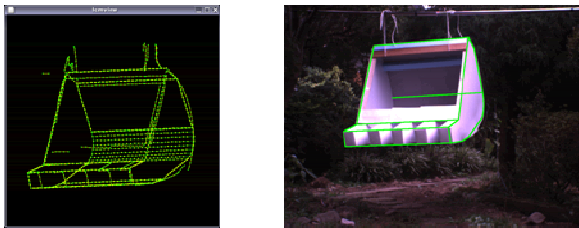


図 24, 25 正面画像と正常認識の様子（緑線が認識結

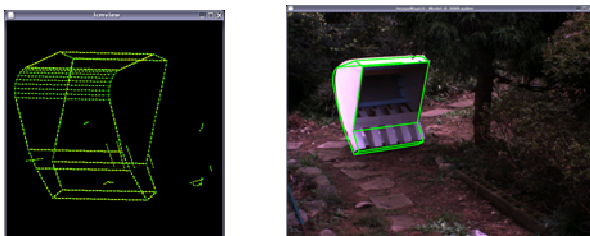


図 26, 27 正面画像と正常認識の様子（緑線が認識結

まとめ

屋外試験では、平面モデルの認識率は著しく低く、実用的ではない。おそらく背景に誤対応してしまう事が原因と考えられる。屋外計測では立体モデルを用いる事が好ましい。

試験 4

屋外にてシルト及び砂利の計測をおこない体積を求めた。理論値と計測値との誤差を基に計測精度を検証した。

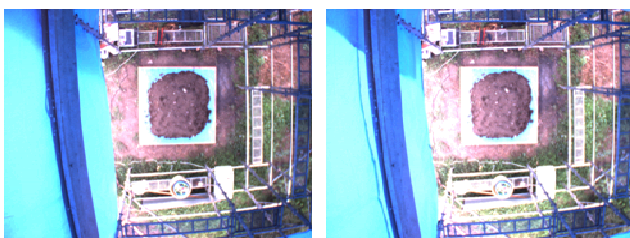


図 28 土計測画像

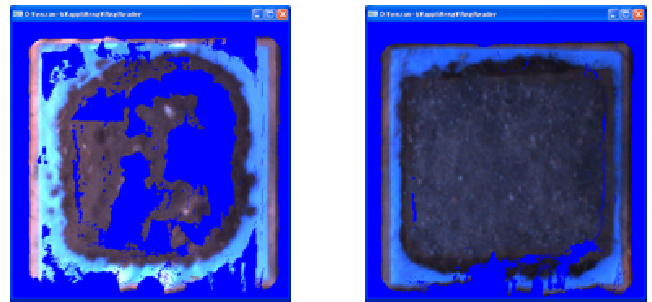


図 29, 30 相関法による 3 次元点群データ

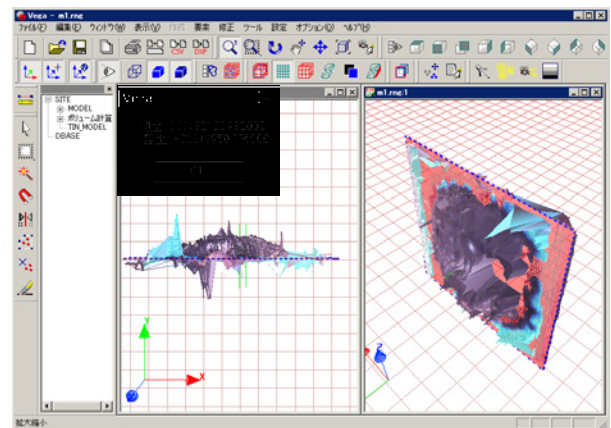


図 31 体積計算結果

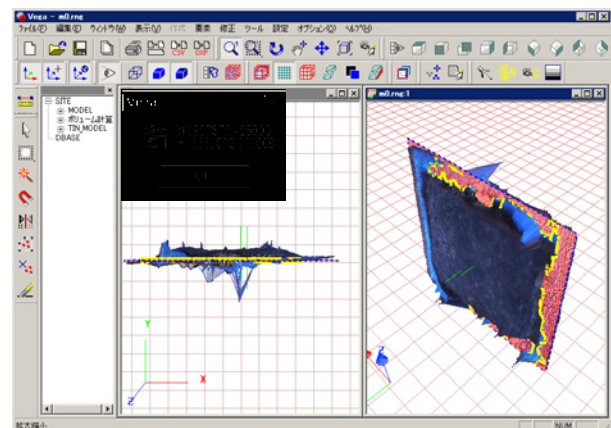


図 32 体積計算結果

まとめ

計測結果は、シルトの場合、実測値 0.25m^3 に対し 0.23m^3 、20 回の繰り返しによる標準偏差は 0.017m^3 であった。一方、砂利の場合は、実測値 0.20m^3 に対し、計算結果は 0.20m^3 、20 回の繰り返しによる標準偏差は 0.009m^3 であった。シルトの場合の結果が砂利に比べて不安定な要因として、カメラ間の輝

度量が微妙に異なるため、画像間での相関がとれにくかったことが考えられる。

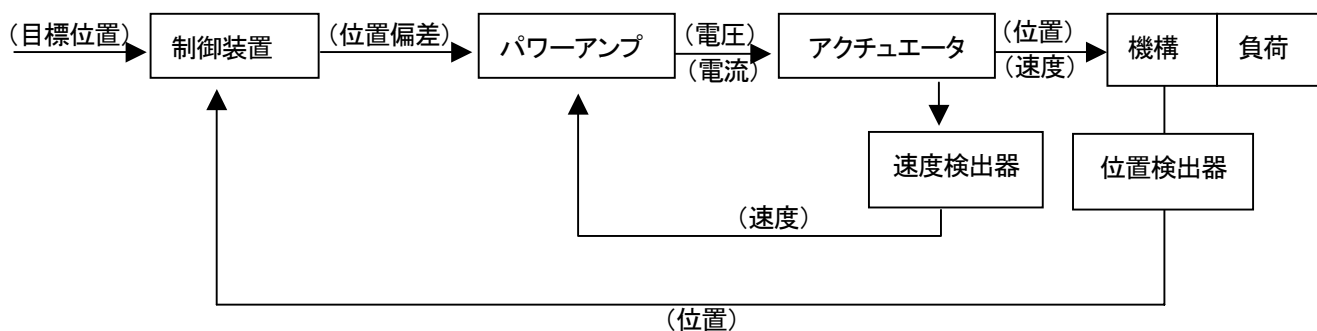
おわりに

3次元物体認識を屋外にて確実にこなう為には、正確な3次元モデル形状を構築する事が必要とわかった。処理速度は、屋内にて約1秒、屋外では約3秒という結果であった。この理由としては、屋外計測では計測データにノイズが多くノイズ除去に時間を要したからである。総合的計測時間は、バケ

ット認識約3秒、位置計測約1秒、掘削面形状計測約3秒ほどであった。また屋外の外乱に対しては、カメラのシャッター速度を最適に設定する必要がある。将来的には、撮影写真のヒストグラムから最適なシャッター速度を求めるプログラムの作成も必要である。

今回の試験はカメラの撮影範囲を局所的に制限しておこなったが、運用する際には広範囲の計測に対応するために、アクティブカメラの採用、カメラ台数の増設などの検討が必要である。

従来の制御方法



高機能3次元視覚システムを用いた制御方法

