

# 情報化施工における変位計を用いたマシンガイダンス化への試み

Trial to mechanical guidance using the machine which observes mutation in becoming information-oriented construction

(株)砂子組	正会員	塩田 佑樹	(Yuuki Siota)
(株)砂子組	非会員	千葉 大樹	(Hiroki Tiba)
(株)砂子組	非会員	名和 紀貴	(Takayuki Nawa)
(株)砂子組	正会員	近藤 里史	(Satoshi Kondo)
(株)砂子組	正会員	佐藤 昌志	(Masashi Sato)

## 1. はじめに

情報化施工が主流になりつつある中で GPS での位置計測をもとにして稼働可能なバックホウやグレーダー、さらにはブルドーザーの排土板に GPS を搭載させて事前に作成した座標のとおりに行っていく技術等が進歩し、土木工事の生産性を上げている。

重機の中で自由度が大きく自動化しにくいのがバックホウであったが、最近、アラウンドビューを見るかのようなアニメーションでバケットターゲットを表示するシステムが完成している。基本的には油圧および油圧吐出量を計測し制御を行っているものと考えられる。しかしながら、情報化施工の機器の中でもマシンガイダンスのバックホウは動作の自由度が高いことから制御が難しく、高価であることから一般には普及していないのが現状である。

このことから、一般的なバックホウにおいて変位測定のスensing技術で電気的、もしくはレバーを機械的に動かす方法で、ガイダンスが可能かどうかを調査する第一段階として、シリンダ - に変位計を取り付けアームの動きをデジタルで表現できるかを試みた。

本論文では、バックホウのシリンダに変位計を取り付け、変位計測を行う事によって機械式制御に関してどの程度の正確さがあるかのキャリブレーションを行った。その結果、油圧制御そのものでなく、変位計で得られるデジタル値をアナログ変換した電気制御でも、ガイダンスを行えると考えられる基礎的資料を得た。

## 2. 情報化施工の現状

情報化施工において現在主流となっているものを以下に示した。

### 2.1 TS による出来形管理技術

設計データを搭載した TS を用いて出来形計測を行い、自動で設計データと出来形データとの差分を算出する。また、自動で出来形管理帳票を作成する。

### 2.2 マシンコントロール (MC) 技術

TS や GNSS により締固め機械の位置を取得し、走行軌跡や締固め回数をリアルタイムに運転席モニタへ提供する (普及段階)。TS や GNSS により機械の位置を取得し、施工箇所の設計データと現地盤データとの差分に基づき、排土板の高さ・勾配を自動制御する。

### 2.3 マシンガイダンス (MG) 技術

TS や GNSS により機械の位置を取得し、施工箇所の設計データと現地盤データとの差分を運転席モニタへ提供する。

### 2.4 TS/GNSS による締固め管理技術

TS や GNSS により締固め機械の位置を取得し、走行軌跡や締固め回数をリアルタイムに運転席モニタへ提供する。

上記の中で最も制御が難しいと言われているのがバックホウのマシンガイダンスで、現行使用されているその機構図を図-1 に、最新の機械のモニタを写真-1 に示した。



図 - 1 バックホウ・マシンガイダンス機構図



写真 - 1 バックホウ・マシンガイダンスのコンソール

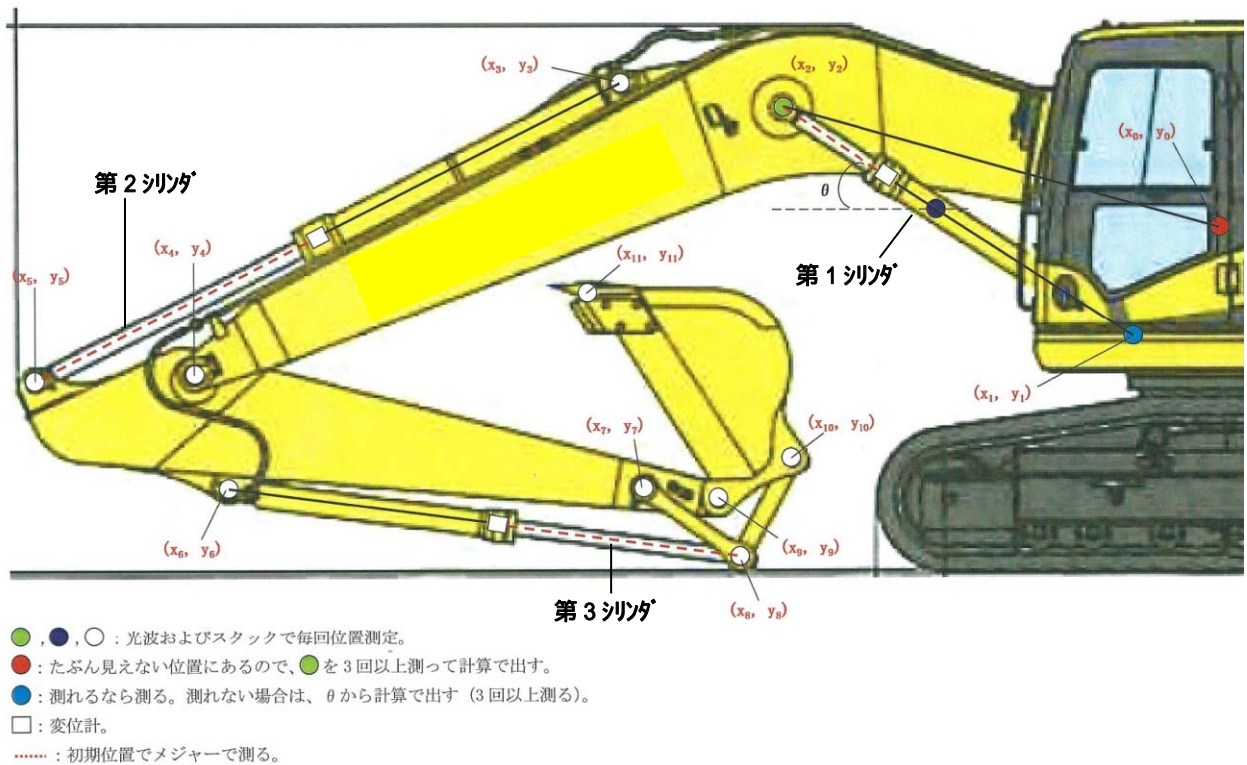


図 - 2 基準状態および光波測定点

図-1 に示したようにバックハウのマシンガイダンスの場合、機械の動く自由度が大きいため全自動化は非常に難しいと言われる中で、写真-1 に示したように、アニメーションでオペレータが操作を広範囲に確認出来る表示も開発されていると言われている。

### 3. 実験の方法

今回の実験では、図-1 に示したチルトセンサーをシリンダの伸縮を計る変位計に置き換えた。傾斜センサーは取り付けしていない。実験方法を以下に示す。

- 1) 図-2 に示した状態を基準として、アーム等の長さは実測、12 個の(x,y)座標は光波で測定。
- 2) 第 1 シリンダ (2, 3 固定) 3 段階の伸縮、第 2 シリンダ伸縮 (1, 3 固定) の様に行っている。
- 3) すべての段階を終えた後、アームを自由に動かし、基準座標に戻す。

変位計データのサンプリングは実験現場での事前試験で 20Hz とした。なお、変位計とシリンダ伸びについても整合性を確認している。

### 4. 実験の評価

図 3-1、および図 3-2 に、初期状態と第 1 シリンダから第 3 シリンダまで伸ばした状態を示した。図に示した緑の線がアームおよびバケットの外郭、紫の S-1 ~ S4 までがシリンダで動くリンクで変位計から求めたものである (写真-2-1, 2-2 参照)。また青は変位計から求めたアーム骨格、黒点線は光波で測定した座標を点線で結んだものである。

光波はノンプリズムで計ったことから、基準の動きはシリンダ変位から求めたものが正確な値と考える。

ここで注意すべき事は、シリンダを伸ばした状態では油圧のアクティブ動作でも、10 分程度の時間が経つと若干下がる傾向にあった。しかしながら、バックハウの動作では 10 分単位で形状を保持するというのではなく、今回のキャリブレーションの動作上生じたものであり、問題は全くない。

その他の傾向としては、当然であるが第 1 シリンダの座標、または第 1 シリンダの角度に誤差があると先端に大きな誤差が出る。

図-3-2 の状態で、第 1 シリンダ角度に 0.1 度下への誤差が出ると、バケット先端では約 170 mm の差となり、シリンダ変位に 1mm の誤差が出ると先端では約 10 mm の差が出る。

表-1 は実験を行った 11Case のバックハウバケット先端の偏差距離である。

トータルステーションによる座標と変位計計測による座標で差が一番大きいのは Case2 で、偏差距離では Case2 と 8 および 9 で、距離も 11cm 程度異なっている。

この表で見取れるのは、変位計による計算でのバックハウバケット先端での偏差距離は最大でも 10cm 程度で、情報化施工におけるマシンガイダンスとして簡易な変位計を用いても、十分使えるということである。

今回の実験では取り付けしていないが、ジャイロを取り付けてバックハウの姿勢誤差を角度補正すれば、かなりの精度で制御できると考えられる。また、地盤の硬さにおいては軟弱地盤に近いところで行われたという理由で、かなりの差が出たとも考えられる。

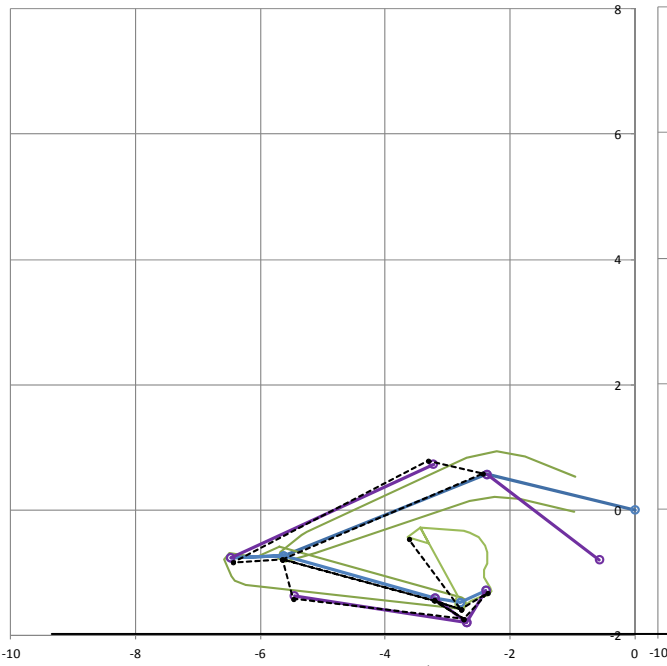


図 - 3-1 アーム初期状態 (シリンダ1縮, 2, 3伸)

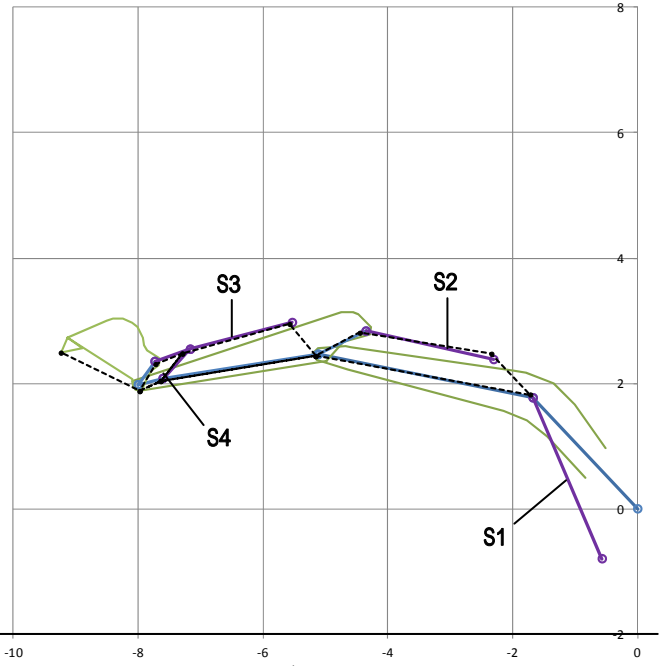


図 - 3-2 シリンダ1 (伸) 2, 3 (縮) 状態



写真 - 2-1 アーム初期状態



写真 - 2-2 シリンダ1, 2を伸ばしたホールド状態

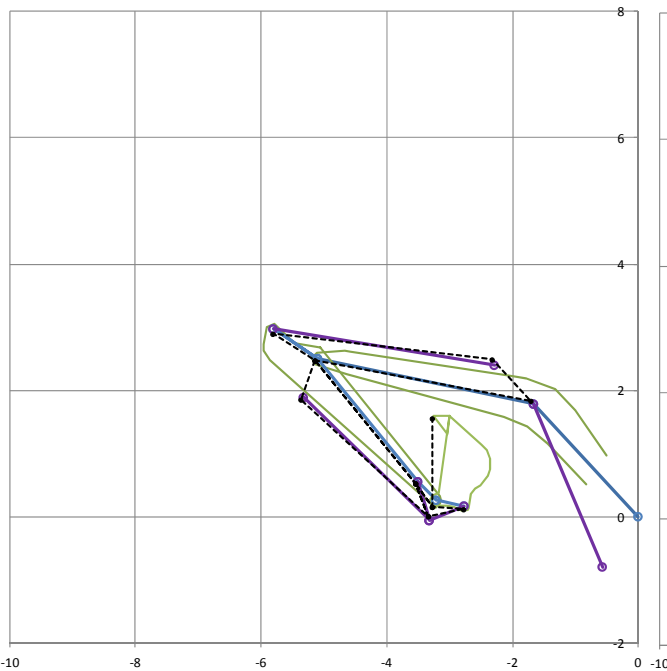


図 - 3-3 シリンダ1, 2, 3 (伸) 状態

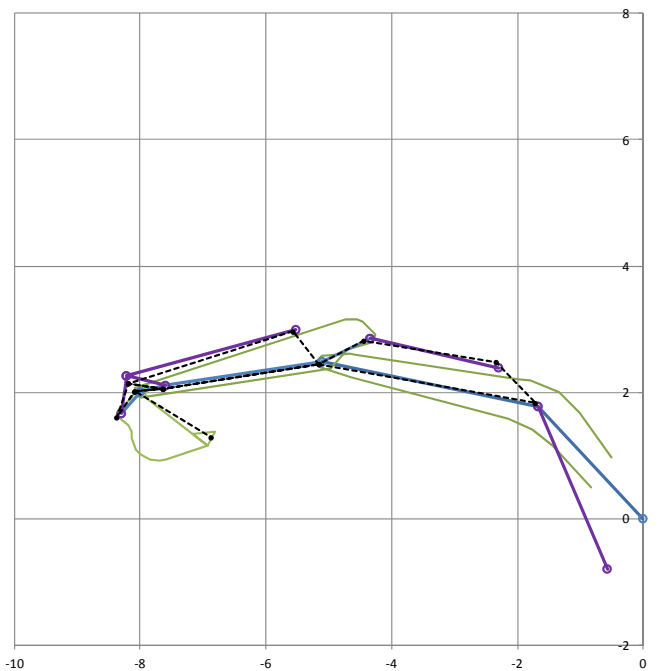


図 - 3-4 シリンダ1 (伸), 2 (縮) 状態

表 - 1 バケット先端の TS 座標と変位計による座標の差、および偏差距離

Case		トータル ステーション	変位計に よる計算	偏差		偏差距離
1	x(m)	-3.621	-3.644	$\Delta x$	-0.023	0.035
	y(m)	-0.466	-0.439	$\Delta y$	0.026	
2	x(m)	-9.415	-9.390	$\Delta x$	0.025	0.112
	y(m)	-1.737	-1.846	$\Delta y$	-0.109	
3	x(m)	-3.547	-3.537	$\Delta x$	0.011	0.052
	y(m)	0.775	0.827	$\Delta y$	0.051	
4	x(m)	-3.507	-3.493	$\Delta x$	0.014	0.043
	y(m)	0.919	0.960	$\Delta y$	0.041	
5	x(m)	-3.279	-3.260	$\Delta x$	0.019	0.048
	y(m)	1.556	1.601	$\Delta y$	0.045	
6	x(m)	-3.880	-3.891	$\Delta x$	-0.010	0.035
	y(m)	0.815	0.849	$\Delta y$	0.033	
7	x(m)	-5.551	-5.561	$\Delta x$	-0.010	0.088
	y(m)	0.408	0.495	$\Delta y$	0.087	
8	x(m)	-6.874	-6.806	$\Delta x$	0.069	0.116
	y(m)	1.286	1.380	$\Delta y$	0.094	
9	x(m)	-7.898	-7.805	$\Delta x$	0.093	0.109
	y(m)	0.613	0.670	$\Delta y$	0.056	
10	x(m)	-9.046	-8.967	$\Delta x$	0.079	0.079
	y(m)	1.067	1.062	$\Delta y$	-0.005	
11	x(m)	-9.240	-9.240	$\Delta x$	0.000	0.000
	y(m)	2.491	2.491	$\Delta y$	0.000	

以上のことから推測出来ることは、レーザー変位形（精度1/1000）でシリンダ変位を計測し、A/D変換を行った後に座標または指定の動作を行うデータとマッチングさせるプログラムを作成し、バックホウレバーの電気回路にD/A変換した信号を送ることが出来れば、どのような機械でも情報化施工機械にバージョンアップ出来ると言うことである。

このような制御回路はどのような産業でも生産ラインで用いられているほか、車ではABSやレーダーでの前方向認識ですでに実用化されている。

## 5. まとめ

今回の実験は、一般のバックホウ動作を変位計測定器で精度良く測れるかを目的にしたものである。変位計測の手法で、一般のバックホウも妥当な精度で情報化施工機器に出来るかを試みた。結論としては、以下である。

- 1) シリンダの変位測定を行ってバケット先端の座標を幾何学的に算出したものと、ノンプリズム計測で計った座標を比較した結果、10cm程度の誤差が生じた。
- 2) シリンダの変位測定を行ってバケット先端の座標を幾何学的に算出したものを正確な値と見なせば、数cmオーダーで制御可能である。
- 3) 精度を良くするためには、車体角度補正として傾斜計もしくはジャイロでの補正が必要十分条件である。
- 4) 変位計でのアームのアニメ化と、GPSでの絶対座標を用いることで、リアルタイムでバックホ

ウ動作をタブレット等に表現可能である。

- 5) 今回行った手法でのアクティブ制御回路は様々な分野で開発されており、一般的に稼働しているバックホウも情報化施工機器になりうる可能性がある。