

25. ペイロード計測システムを搭載した油圧ショベルの開発

－ 建設施工のコスト低減と効率向上の追及 －

キャタピラージャパン株式会社 ○ 白澤 博志

1. はじめに

近年の建設施工分野においては、建設機械に対する環境対応性の向上、省エネルギー化といった持続可能性（サステナビリティ）への貢献が求められる傾向にあり、例として、排出ガス規制（オフロード法）の段階的な強化、燃費基準及び低燃費型建設機械の認定制度の導入等が挙げられる。建機メーカーもこれに呼応した製品開発を遂行する事は当然の事ながら、一方で、建設施工分野においては、日々、施工効率の向上、コスト低減、生産量管理の容易化が求められており、これらのニーズに応える事もまた必須である。

当社では、2015年から油圧ショベル「Fシリーズ」を順次市場導入しており、最新の排出ガス規制オフロード法2014年基準に適合する事は勿論の事、燃料消費量を従来モデルから低減する性能向上も図っている。更に、新たなバリューを付与する為、施工コスト低減及び効率向上に貢献するペイロード計測システム「Cat プロダクションメジャメント」を開発、適用した。本システムは、油圧ショベルバケット内の荷の重量を計量するものである。計量の為に車両やフロント作業機の静止は不要で、通常のトラック積み込み操作の過程で自動的に計量するシステムであるのに加え、高い精度により品質も確保されている。本論文では、このペイロード計測システムの技術について解説する。



図-1 Cat プロダクションメジャメントを搭載した油圧ショベル Cat 336F(L)XE

2. 建設施工における生産土量管理方法

建設施工現場においては、建機等によって動かされた土量の管理が必要であり、また、現場から土砂・岩等の材料をダンプトラックで持ち出す工程においては、最大積載量を順守する為に、積み込み量を適切にコントロールする技量が求められる。

2.1 一般的な計量方法

従来の計量方法として、荷を積載した状態で、ダンプトラックごと固定式/携行式トラックスケールに載り、重量を計測する方法が挙げられる。

(図-2)トラックスケールは計量器として、正確な計測が可能であるが、設置場所が基本的に固定となる為、現場レイアウト、ダンプトラックの走路等の考慮が必要で、導入コストも高価である。碎石現場では、プラントの一部としてトラックスケールが設置されている事が多いが、一般土木では一時的な現場となる為、トラックスケールを設置するケースは、コストの点からも大規模工事現場等、限定的である。



図-2 携行式トラックスケール(一軸)による計量例

2.2 建機のペイロード計測システムによる計量

当社製品のホイールローダ、オフハイウェイダンプトラック、アーティキュレートダンプトラックには、近年、オプション機能としてペイロード計測システムを用意してきた。アクチュエータが受ける圧力やボディのひずみをセンシングする事でペイロードを算出する原理であり、トラックスケールを使用する事無く、生産土量を把握する事が可能となった。(図-3)

一方、油圧ショベルは、上部構造体が旋回するという特有の機構を有しており、旋回操作中、荷に遠心力が働く為、鉛直方向の荷重をセンシングするだけでは正確な計量は困難である。後付けタ

イブのペイロード計測システムが存在してはいたが、簡易的なセンサのみで精度が比較的低かったり、車両・フロント作業機の静止によって計量精度を確保する事が必要な場合もあり、サイクルタイムを悪化させる要因となっていた。更に、装着工事の手間やキャリブレーションの手間も後付けタイプにおいては課題となっていた。

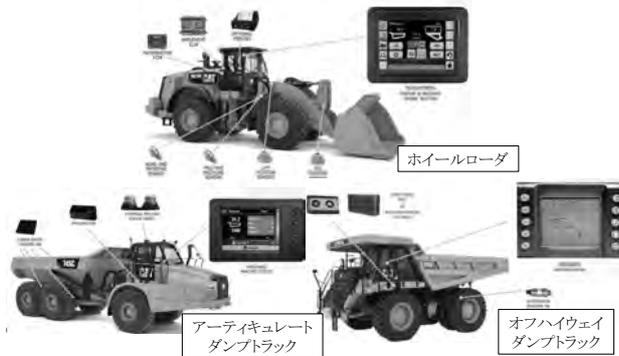


図-3 ペイロード計測システムを搭載した建機の場合

3. Cat プロダクションメジャメント

上述の課題を解決し、社製品の油圧ショベルに工場出荷時から搭載可能な純正ペイロード計測システムとして開発、実用化したのが、Cat プロダクションメジャメントである。

3.1 システム構成

3.1.1 ブームシリンダ圧力センサ

ブームシリンダ内の圧力を計測するセンサが油圧ラインに装備されている。バケット内に荷が入って重量が増加すると、フロント構造物の支点となるブームシリンダの内部圧力が増加する事を利用して、バケット内荷重を算出することができる。

3.1.2 ストロークセンサ付バケットシリンダ

バケットの姿勢（角度）を把握する為、バケットシリンダロッドの動きをセンシングするシリンダ内蔵型センサである。従来の簡易的な後付けペイロード計測システムではバケットの姿勢を考慮しないものも存在していたが、Cat プロダクションメジャメントは、バケット姿勢もセンシングして、高精度に貢献している。また、強固なバケットシリンダガードを装備する事で、センサのハーネスコネクタ部への飛来物等による損傷を回避しており、耐久性／信頼性も確保されている。

3.1.3 ポテンションメータ（角度センサ）

ブーム後端部ピンに装備されたポテンションメータがブームの姿勢（角度）をセンシングし、ブーム先端部ピンに装備されたポテンションメータがアームの姿勢（角度）をセンシングしており、ブーム及びアームの姿勢を検知する。

3.1.4 旋回速度センサ

スイングフレーム部に設置された旋回速度センサは、3軸加速度計とジャイロ機能を有しており、

上部構造体の旋回速度をセンシングしている。旋回操作により、バケット内の荷を含むフロント構造物にかかる遠心力を算出し、ブームシリンダ圧力センサによるペイロード計測値を補正する。この旋回速度センサの採用により、旋回操作中でも、動的にペイロード計測を可能とさせると共に、計測精度の向上にも貢献している。

3.1.5 ピッチ／ロールセンサ

スイングフレーム部に設置されたピッチ／ロールセンサは、車両の前後方向及び左右方向の傾き角度をセンシングしている。車両の傾き具合によって、ブームシリンダ圧力センサによるペイロード計測値に誤差が生じる為、本センサによって正確なペイロード値に補正している。

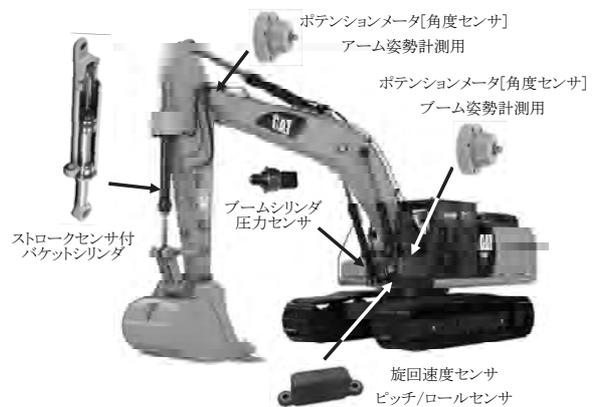


図-4 Cat プロダクションメジャメント センサ群

3.1.6 モニタ

本システムの関連データ表示機能は、標準モニタに統合されており、オペレータ視界の妨げとなる追加モニタの装備は不要となっている。（図-5）



図-5 関連データモニタ表示

モニタにはバケット内荷重、現在積込みを行っているトラックへの積込み量、積込みバケット杯数カウント、積込みが完了したトラック台数のカウント等のデータが表示される。

3.2 ペイロード計測プロセス

本システムは、油圧ショベルがトラックに対して土等の材料を積み込む作業を想定した計量システムであり、油圧ショベルの①掘削、②ブーム持上げ+旋回、③トラックへの排土、④掘削ポイントまで持下げ旋回、の過程でペイロードを計量するシステムである。

オフハイウェイダンプトラックやホイールローダは、油圧ショベルの様に旋回する機構は無い為、基本的には、鉛直方向の荷重を計測すれば良いのに対し、油圧ショベルは旋回操作が加わるので、正確な計測の為に、鉛直方向の荷重値に対して遠心力の影響を補正する必要がある。本システムでは、掘削してバケット内に荷が入り、ブーム持上げ旋回操作を開始した時点から、0.02秒間隔で荷重のサンプリング計測を行い、2~3秒間に集めた100以上の荷重計測データを元に、フロント作業機の姿勢、旋回速度、車体の傾斜に応じて補正を加えた正確なペイロードを算出する。

油圧ショベルのブーム持上げ旋回操作中に、ペイロード計測プロセスが進行し、計測開始の為に何等かのスイッチを押す等の操作も不要である事から、オペレータは車両やフロント作業機を静止させる必要が無く、通常のトラック積込作業を行うだけでペイロードが計測できる。(図-6) オペレータにとってはストレスフリーなシステムであり、また、サイクルタイム向上に貢献するシステムとなっている。

車両の動き	モニタ表示	
掘削		前回積込時の計量値表示
持上げ 旋回開始		バケット内荷重値リセット 計量状況表示 計量開始
持上げ 旋回終了		バケット内荷重表示更新 計量終了
排土		トラック積載量更新 残り積込み量更新 バケット杯数更新
復帰		計量状況表示消灯

図-6 ペイロード計測過程のモニタ表示遷移

3.3 ガイダンス機能

本システムでは、モニタ上で予め現場で積込作業に使うトラックの情報(トラック名称、最大積載量)を登録する事ができ、積込み作業を行う際にそのトラック情報を呼び出すと、該トラックの

最大積載量が目標積込み量として設定される。トラックへの積込み杯数を重ねていくと、積載した土量分が目標積込量から差し引いて表示されていくと同時に、目標積込み量への到達状況を示すアイコン表示が変化していく事で、オペレータは、トラックにあとどれだけ積込みを行えば、目標に達するか瞬時に把握できる。(図-7) 目標積込量を超過して積載すると、アラーム音でオペレータに警告する為、トラックの過積載が回避できる。逆に、過小積載の回避も可能であり、生産効率向上に寄与する。



図-7 モニタ上のガイダンス表示機能

3.4 計量精度

本システムは、ブーム持上げ旋回動作という動的な状態においても、高い計量精度を発揮する事が可能であり、ペイロード計量値は、±5%の精度を95%の確度で保つ事が可能である。トラックスケール並みのスペックを有しており、生産量の管理に十分耐えられる性能である。尚、高い精度を確保しているものの、検定に合格した特定計量器ではない為、取引・証明用に使用する事はできない。

また、上述の精度を確保する為には、次に示す一定の作業条件を満たす必要がある。

- ・車両傾斜角を10度以下に保つ。
- ・積込み作業時にブームを上げ過ぎない/アームを巻き過ぎない。
- ・持ち上げ旋回操作の2.5秒以上の継続。
- ・持ち上げ旋回時の旋回速度を適度に保つ。(5~35度/sec)

本システムの計量精度を確認する為に、油圧ショベル実機にてトラック積込み作業を行い、Catプロダクションメジャメントによる計量値と、トラックスケールによる計量値との比較を行う試験を実施した。その試験結果を表-1に示す。5回行った比較計測で、本システムの計量値とトラック

スケール計量値との誤差は全て 5%以内におさまっており、スペックが示す通りの高い計量精度を示した。

表ー1 Cat プロダクションメジャメント計測精度確認試験結果

ケース	計測システム	計測結果 [ton]	計測結果 差異
#1	CPM	25.3	+1.2%
	トラックスケール	25.0	-
#2	CPM	24.4	+1.7%
	トラックスケール	24.0	-
#3	CPM	26.1	+4.4%
	トラックスケール	25.0	-
#4	CPM	28.2	+0.7%
	トラックスケール	28.0	-
#5	CPM	23.0	+4.5%
	トラックスケール	22.0	-

*CPM: Cat プロダクションメジャメント

3.5 キャリブレーション

本システムは、計量精度を確保する為にキャリブレーション作業が必要であるが、校正用ウェイトは不要であり、車両単体で簡単な操作を行うだけで作業は完了する。キャリブレーション操作としては大きく2つあり、①ブーム上げ/下げ単動作によるキャリブレーション、②ブーム持ち上げ/持ち下げ旋回動作によるキャリブレーションである。キャリブレーション作業は、数分で完了する内容であり、また、必要とされる頻度はバケット交換時及び6か月毎としており、メンテナンス省力化を図っている。

3.6 計測データ管理

Cat プロダクションメジャメントは、モニタ上にリアルタイムにペイロード計量値を表示するだけでなく、計量データの蓄積も行っており、モニタ上で別途、総積載量、総バケット杯数、総トラック台数を呼び出して確認する事ができる。

また、遠隔で車両状態を管理するシステム「Product Link」が油圧ショベルに搭載されており、Product Link から得られる情報を管理閲覧する「Vision Link」上で、蓄積した計量データ（総積載量、総バケット杯数、総積載量、時間当たり作業量 (ton/hr)、燃料生産性 (L/hr)) を管理する事も可能である。(図-8)

4. Cat プロダクションメジャメント導入の効果

従来の生産土量計量方法に変わり本システムを導入する事で、施工コストの低減、生産効率の向上を主とした、以下の効果が期待できる。

- ・トラックスケールを設置するスペースが無い現場でもペイロード計量が行える。
- ・トラックスケール操作人員が削減できる。
- ・トラックスケールで計測する工程が省略できる為、サイクルタイムが短縮できる。
- ・比較的低コストかつ容易に生産量管理が行える。
- ・オペレータの勘に頼らずに、トラックの最大積載量を順守する積み込み作業が、正確かつ容易に行える。
- ・トラックの最大積載量に対して過小積載を回避して生産効率を向上させる。
- ・計量データの分析により、オペレータに対し省燃費運転及び効率向上運転の指導を行える。

5. おわりに

紹介した Cat プロダクションメジャメントは、現在、Cat 油圧ショベルFシリーズの中でも一部のクラス・機種にのみ用意されている機能であるが、今後は本システムを他のクラス・機種にも拡充して導入し、市場ニーズに応じていく。また、建設施工コストの低減、効率向上に貢献する更なる新技術の開発を常に追求し、リーディングカンパニーとして、マーケットを牽引する役割を担っていく所存である。



図ー8 Vision Link の計量データ確認画面例