

2. バックホウを母機としたフリート・マネジメントに関する研究

(株) キック
(株) キック

○ 西垣 重臣
才原 勝敏

1. 問題意識

災害応急復旧工事の作業環境は、作業の進捗に応じて変化する。さらに、作業箇所は広域に分散している。今まで行ってきた、現在行っている、またはこれから行う作業の内容と作業全体の位置づけを理解することは非常に重要である。

災害応急復旧工事において、多種多様な建設機械、ダンプトラック、作業員、その他の機器類などが活用される。それぞれの役割と稼働状況、並びに作業箇所ごとの作業状況と進捗度を把握するために、データ収集と管理情報生成に係る編集加工・解析作業には多くの工数を必要とする。これらの工数削減と臨場感を持った実時間性の高い作業状況把握のために情報通信技術の活用が期待される。

災害応急復旧工事の作業箇所において、移動体はバックホウに接近してくる、またはその周辺で

稼動/作業することが多い。作業箇所におけるフリートの中心はバックホウである。ここで、フリートとは、日々の施工のために協働する建設機械、ダンプトラック、作業員などの移動体の編隊をいう。一方、風雨に晒されること、電源確保が難しいことなどから、作業箇所における情報技術の活用が難しい。そこで、情報機器類の維持管理と電源確保が容易なバックホウのキャビン室内に作業現場ネットワークの基地局を設置する

バックホウが搭載する基地局は、作業箇所において発生・収集されたデータの収集と一次保存、他の端末機器や施工情報管理システムとのデータ交換などの役割を担う。バックホウは、作業箇所においてフリートの母機としての役割を担い、情報の収集と配信の効率化を図る。バックホウを母機としたフリート・マネジメントの河川土工への適用イメージを図1に示す。

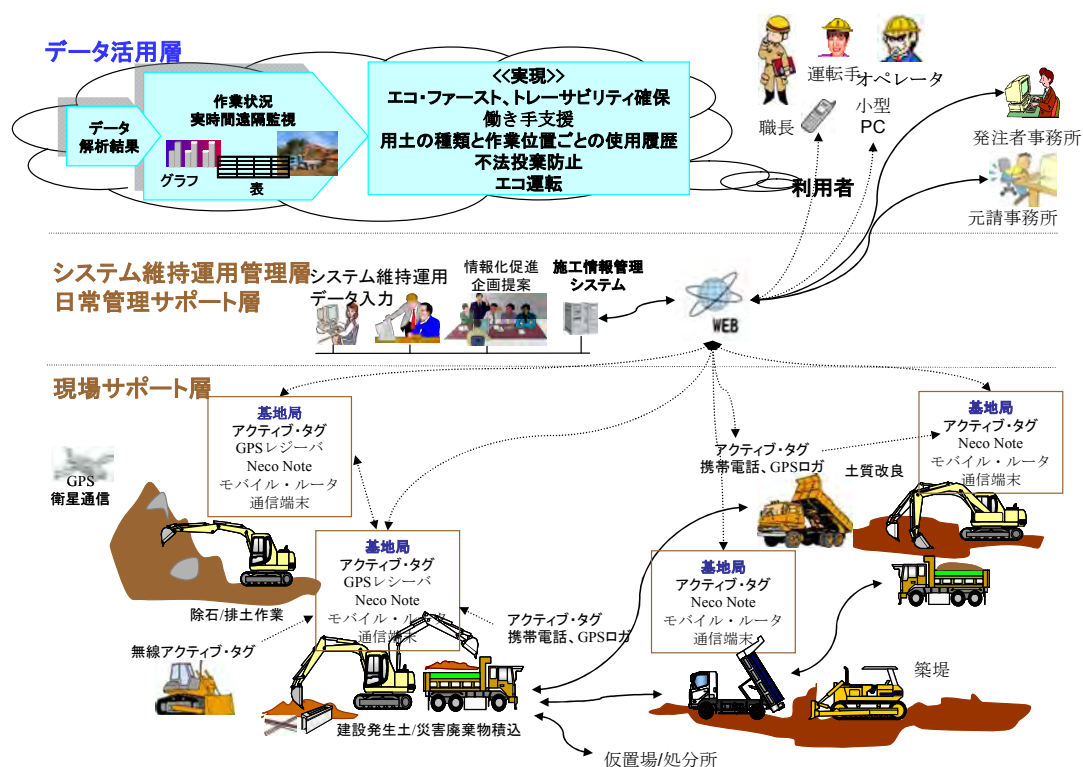


図-1 バックホウを母機としたフリート・マネジメントの河川土工への適用イメージ

2. 作業時点情報管理

作業時点情報管理(POC: Points On Construction)とは、

- ①作業時点で移動体に係る事象生起を検知する、
 - ②動態計測データを収集し、施工情報管理システムに自動送信する、あるいは、
 - ③施工情報管理システムからマスタデータや作業指示データなどを自動受信する
- 仕組みである^{1), 2)}。

POC の概念データモデルを図 1 に示す。概念データモデルは、対象とする領域で使用される語彙と語彙の構造を示し、それらの名称と意味を規定する。

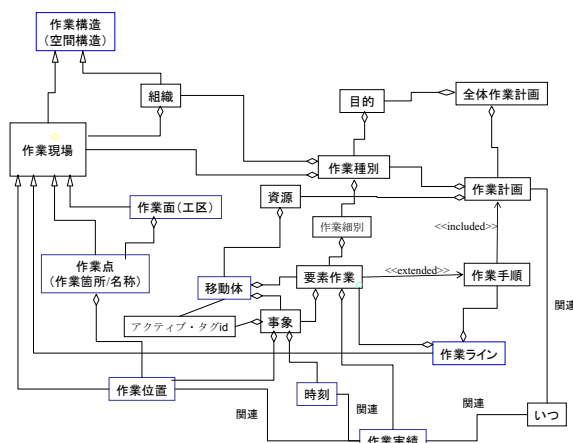


図-2 POC の概念データモデル

要素作業に係る事象、例えば、アクティブ・タグ id、作業位置（タグ検知位置、GPS データなど）、時刻（検知時刻、受信時刻など）などをキー要素として、作業実績情報が自動生成される。

2.1 移動体の振る舞い検知方法

POC は、図 2 に示す事象に注目して、作業現場で発生するその生起を検知することで、移動体の振る舞いを検知する。移動体の振る舞い検知方法は、センサー方式と人間介入方式、そしてストア&フォワード方式の 3 つ方式で構成される。移動体の振る舞い検知方法のイメージを図 3 に示す。

(1) センサー方式

事象の開始と終了を可能な限り自動的に検知・収集したい。そこで、アクティブ・タグ検知器が、通信可能領域内に存在する移動体が保持するアクティブ・タグを自動検知する方法を取る。アクティブ・タグの検知データ状態監視機能の振る舞いを図 4 に示す。

ここでのアクティビティ・シーケンスをつぎに示す。

- ① 移動体はアクティブ・タグを保持する。このアクティブ・タグは 1 回/1 秒の頻度で電波を発

信する。

- ② 基地局をバックホウに設置する。
- ③ 基地局が通信可能領域（約 100m 半径内）に存在するアクティブ・タグの電波を連続的に受信する。
- ④ アクティブ・タグからの電波の初回受信を事象の開始とし、最終受信を終了とする。
- ⑤ アクティブ・タグの ID、初回受信時刻、最終受信時刻などのデータを基地局が一時保存する。
- ⑥ 基地局は、データ交換機能を利用して、これらのデータを施工情報管理システムに自動送信する。

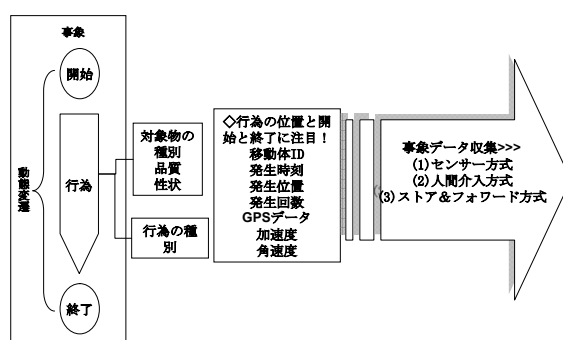


図-3 移動体の振る舞い検知方法のイメージ

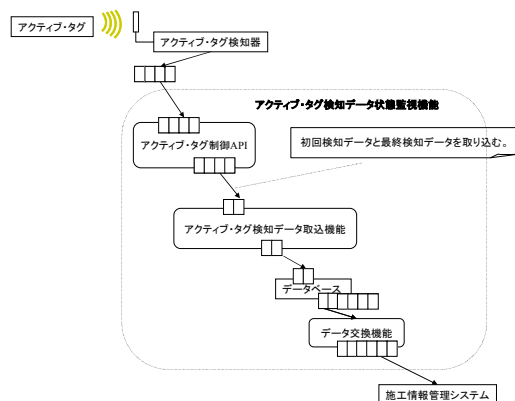


図-4 アクティブ・タグの検知データ状態監視機能の振る舞い

移動体は、アクティブ・タグ信号の初回検知器時刻に検知器通信可能領域に進入し、最終検知時刻にその領域から退場した、と判断される。移動体の検知器通信可能領域入退場（初回検知と最終検知）時刻の同定方法を図 5 に示す。

図 6 に示すように、この同定方法によって、つぎに示す指標値が算出される。

- ① 作業（積込/荷下ろし）箇所内滞留時間
- ② 積込/荷下ろしにおける待機台数
- ③ 管理区画内走行時間

- ④ 往路走行台数
- ⑤ 復路走行台数
- ⑥ 荷積み（往路）運行時間
- ⑦ 空荷（復路）運行時間
- ⑧ 積込/荷下ろし延べ台数
- ⑨ 運搬回数
- ⑩ 積込/荷下ろし間隔（到着時間間隔）
- ⑪ 運行サイクルタイム
- ⑫ バックハウ稼働時間
- ⑬ バックハウ時間当たり積込量
- ⑭ 積込/荷下ろし量の合計
- ⑮ 積込、荷下ろし、運搬などに関するピッチタイム
- ⑯ 積込、荷下ろし、運搬などに関する作業速度
- ⑰ 作業経過時間と作業許容残時間

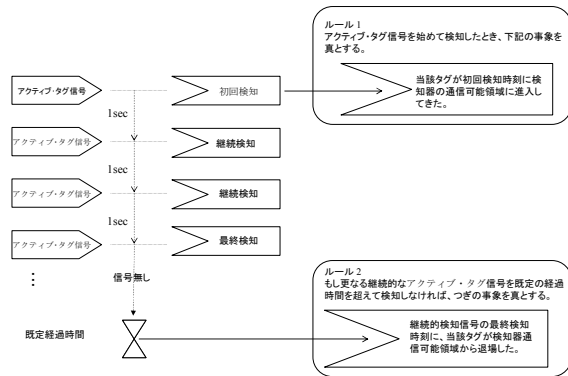


図-5 移動体の検知器通信可能領域入退場（初回検知と最終検知）時刻の同定方法

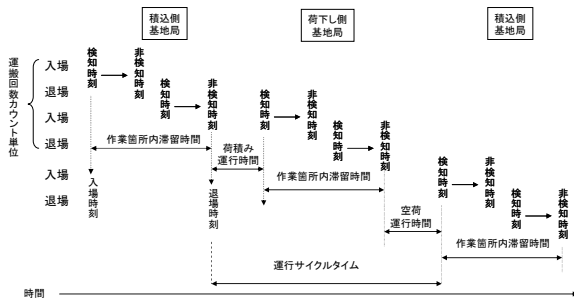


図-6 タグ検知時刻から算出される指標値

(2)人間介入方式

つぎに示すように場面では、人間介入方式を採用する。

- ① アクティブ・タグ検知器の設置が困難ため自動検知ができない。
 - ② 事象の識別に人間の判断が必要である。
- 人間介入方式には、つぎに示す2つの方式がある。
- ① 事象生起の開始と終了を、人間が PC の該当するファンクション・キーを押下することで

検知する。

- ② 事象種別を該当するボタンを押下することで、その識別を把握する。

(3)ストア&フォワード方式

作業箇所において、つぎの場面にしばしば直面する。

- ① インタネットに接続できない。
- ② 通信遅延または途絶が時々発生する。

このようなときストア&フォワード方式を採用する。ここでは、つぎに示す2つの方式を採用する。

①アクティブ・タグによるデータ運搬

アクティブ・タグによるデータ運搬のイメージを図7に示す。インタネットに直接接続できないとき、アクティブ・タグが、基地局から基地局 ID を受信し、受信時刻とともに一時保存する。そして、このアクティブ・タグがインタネット接続可能エリアに設置してある基地局に接近したときに、この基地局とデータの送受信を行う。この基地局はアクティブ・タグから受信したデータを一時保存し、施工情報管理システムに自動送信する。

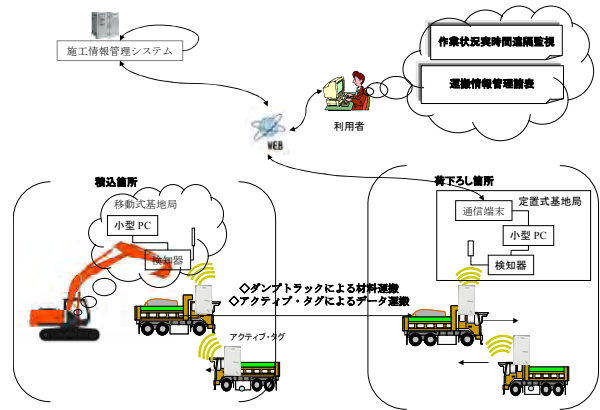


図-7 アクティブ・タグによるデータ運搬のイメージ

② 小型 PC によるデータ運搬

つぎに示す2つのデータ運搬が可能である。

- a) 管理者は携帯する小型 PC を使って、バックハウ基地局の小型 PC に無線 LAN 接続することにより、バックハウの作業実績を取得する。そして、その小型 PC を現場事務所まで持ち帰る。
 - b) オペレータが基地局のコンポーネントである小型 PC を作業終了後に現場事務所まで持ち帰る。
- ### ③データの一時保存と再送信方式

3G データ通信端末、衛星通信、長距離無線 LAN などを使用するとき、しばしば遅延または途絶する。そこで、つぎの対策をとる。

- a) 基地局は検知データを一時保存する。そして再接続時に検知データを自動送信する。
- b) 施工情報管理システムは多方面に分散している基地局から検知データを受信する。そして、施工管理に必要な管理情報を自動生成される。
- c) 基地局は、情報処理に必要なマスタ・データ、作業指示データなどを、施工情報管理システムとの通信が確立した時に、当該データを自動取得する。

2.2 情報装備と主要な情報

作業時点情報管理の情報装備のイメージを図 8 に示す。作業時点情報管理では市販されているハードウェアとソフトウェア、そして自主開発した作業現場ノート（NeCo Note: Network Communication Note）を使用している。NeCo Note はオペレータ支援を目的としたソフトウェアである。

図 8 に示した情報通信機器類を使用して取り扱う主要な情報をつぎに示す。

- ① 主要な配信情報
 - a) マスタ・データ
 - b) 作業計画指示情報
 - ・重機作業能力、重機作業計画
 - c) 施工図、豆図
- ② 主要な収集情報
 - a) 機械稼動情報
 - 時刻、3 軸加速度、3 軸角速度
 - b) 作業位置データ
 - c) 始業点検結果
 - d) オペレータ作業日報
 - e) 運行 GPS データ
 - f) アクティブ・タグデータ
 - 検知時刻、タグ ID、検知器 ID
 - g) 運転日報
 - h) 作業状況写真

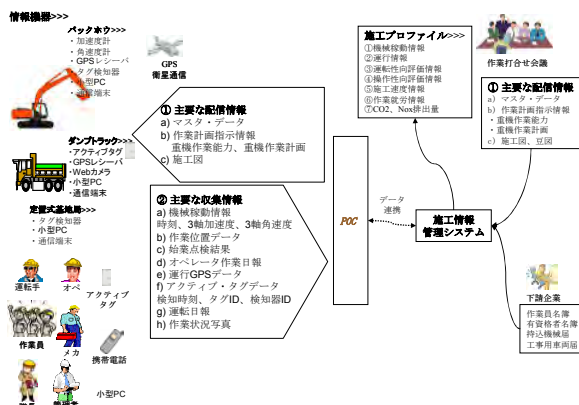


図-8 作業時点情報管理の情報装備のイメージ

これらの情報はデータ交換機能を使用して施工情報管理システムに自動送受信される。施工情報管理システムは、受信したこれらの情報を一元管理するとともに、施工プロファイル情報を自動生成して利用者に提供する。

3. バックホウの母機としての役割

3.1 バックホウに搭載する基地局

前述したように、バックホウは、作業箇所においてフリートの母機としての役割を担い、情報の収集と配信の効率化を図る。母機となるバックホウが搭載する基地局は、作業箇所において発生・収集されたデータの収集と一次保存、他の端末機器や施工情報管理システムとのデータ交換などの役割を担う。基地局の構成、並びにバックホウとダンプトラック間のデータ交換のイメージを図 9 に示す。

この基地局はつぎに示す情報通信機器で構成される。

- ① Web カメラ
 - 掘削・積込対象物監視用
- ② GPS レシーバ
 - 作業位置(GPS データ)の取得
- ③ アクティブ・タグ検知器
 - アクティブ・タグ電波の検知、タグ ID と受信時刻の取得
- ④ 通信端末
 - 無線 LAN アクセス・ポイント、無指向性アンテナ、3G 通信など
- ⑤ 作業現場ノート（NeCo Note）
 - タグ検知データや録画データの一時保存、通信遅延/途絶耐性、周辺で作業する、または接近してくる移動体の存在通知、作業状況モニタリングなどの諸機能を持つソフトウェア・システム

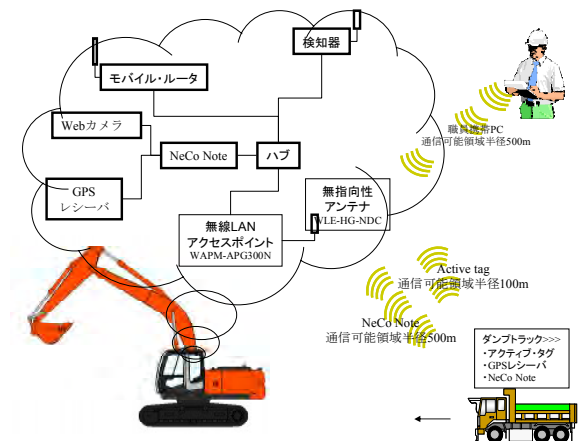


図-9 基地局の構成、並びにバックホウとダンプトラック間のデータ交換のイメージ

- ② オペレータは自らの作業状況とその実績情報をキャビン室内で確認することができる。こ

これらの具体例を以下に示す。

- a) 検知トラック情報は、タグを検知している間、検知トラックの情報が表示される。
- b) 運行状況と作業状況に関する項目は、一定時間間隔ごとに自動更新表示される。この時間間隔は事前に設定できる。
- c) 接近して来たダンプトラックのタグ ID と車両番号がモニタリング画面に表示される。このダンプトラックに対する積込可否を警告情報により容易に確認できる。さらに、画面に表示された車両番号とダンプトラックのプレート上の車両番号を目視確認することで、積込可否を判断できる。
- d) 自らの作業位置 (GPS データ) をいつも確認できる。NeCo Note がインターネットに接続できるとき、この作業位置を GIS 上で確認できる。
- e) 積込材のカメラ映像を画面上に表示し、必要に応じて静止画をその撮影位置 (GPS データ) とともに取得し、POI として保存できる。
- f) モニタリング画面に表示される作業実績情報
 - ・ 開始時間
 - ・ 経過時間
 - ・ 積込台数 (累計)
 - ・ 積込間隔 (平均到着間隔時間)
 - ・ 積込量 (累計)
 - ・ 時間量 (時間当たり積込量)

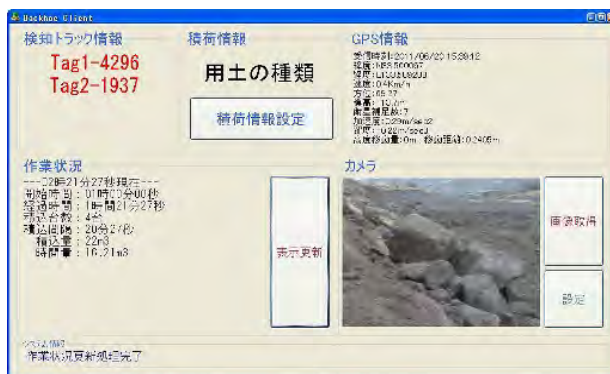


図-12 作業状況実時間監視画面例

4. まとめ

除石作業、排土作業、災害廃棄物の分別処理作業などでは、多くの作業箇所が広域に分散するとともに、多くの建設機械が稼動し、ダンプトラックが作業箇所間を行き交いする。ここでは、ダンプトラックは、積み込むまたは荷下ろしするために、建設機械に接近してくる。

これらの作業において、バックホウを母機とし

たフリート・マネジメントを活用することにより、つぎに示す効果が期待される。

- ① 作業現場ネットワーク構築の容易化
- ② 通信遅延/途絶が発生しても耐えうるデータ交換機能の提供
- ③ データの収集と配信の容易化
- ④ 作業状況実時間遠隔モニタリングの実現と作業状況/実績の把握の容易化

管理者は、手元の PC また携帯電話を使用して施工情報管理システムにアクセスすることで、前述した指標値を作業状況実時間遠隔モニタリング画面にて確認できる。

そして、これらの情報を利用して、つぎに示すことが可能になる。

- a) 初期状態から目標状態に到達するまでの作業遂行状況の定量的評価尺度による表現と作業進捗度の把握
 - b) 作業間の生産性ラインバランス不均衡の把握と早期アラームによる初動対策のタイムリーな喚起
- ⑤ トレーサビリティ確保と不法行為抑止効果の向上
- 除石作業や排土作業に伴う建設発生土、築堤用土、災害廃棄物などの種類ごとの積込/荷下ろし位置と時刻の把握が容易になる。そのため、不法投棄のような不法行為を抑止する効果が向上する。

- ⑥ 成り行き管理から目標管理へ

NeCo Noteは、働き手 (オペレータ、運転手) に、自らの作業状況・実績を適時確認し、今後の作業の見込を立てる機会を与える。そのため、働き手に、成り行き任せの作業ではなく、目標を持った作業を促す。

- ⑦ ソリューションのイージ・オーダ方式組み立てとクラウド型サービスにより TCO を削減する。

参考文献

- 1) S. Nishigaki, K. Saibara, F. Matsuda, H. Ogura: "Points On Construction, " 25th ISARC, Vilnius, Lithuania, pp. 796-803, 2008.
- 2) S. Nishigaki, K. Saibara, S. Kitahara, H. Satoh, M. Hasegawa, H. Ogura, F. Matsuda: LHD Remote Monitoring and Management based on Delay/Disruption Tolerant Network, 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, pp. 326-335, ISARC 2010.