⑻ 映像から取得したKPIを用いて作業を評価する施工マネジメントシステムの開発

早川　健太郎[1]・黒台　昌弘[2]・蒔苗　耕司[3]

[1]正会員　株式会社安藤・間　技術研究所（〒305-0822 茨城県つくば市苅間 515-1）
E-mail: hayakawa.kentaro@ad-hzm.co.jp

[2]正会員　株式会社安藤・間　技術研究所（〒305-0822 茨城県つくば市苅間 515-1）
E-mail: kurodai.masahiro@ad-hzm.co.jp

[3]正会員　宮城大学教授　事業構想学群（〒981-3298 宮城県黒川郡大和町学苑 1 番地 1）
E-mail: makanae@myu.ac.jp

建設現場の施工管理業務を省力化するため，映像分析技術と KPI（Key Performance Indicator）の考え方に注目し，技術者の眼に代わって作業状況を評価する施工マネジメントシステムを開発した．対象とするKPI は，技術者へのヒアリング調査で上位だった工程管理と安全管理に関するものとした．ダム現場にシステムを適用し，基礎掘削を行う建機の稼動率を KPI として評価した結果，KPI の低い建機を特定し，ムダな時間を削減する効果があった．また，立入禁止エリアへの進入回数から求めるリスクを KPI とし，時間帯による変動を計測した結果，資材の移動に合わせて人物が移動したため KPI が増加しリスクが高まることが判明した．このような指標を基にパトロールを実施することで，労働災害の軽減効果が期待できる．

Key Words: *KPI, image analysis, process management, safety management*

1. はじめに

建設現場における施工管理業務はQCDSE（Quality, Cost, Delivery, Safety, Environment）の 5 要素の管理である．技術者は現場を巡回することで作業状況を確認し，施工計画と比較することで，工程の遅延や不安全行動を発見して作業の良否を判断している．これらの判断は現場巡回と目視確認により行うことが基本だが，施工管理を担う人手不足等の理由から，より少ない時間と労力で行う仕組みが求められている．そのためには，現場技術者の眼に代わって現場の状況を把握するとともに，それが良い状況なのかを評価する指標が必要である．

この仕組みを実現するため，筆者らは業績評価の指標である KPI（Key Performance Indicator）に注目し，映像分析技術を用いて現場映像から KPI を取得して現場の作業状況を評価する施工マネジメントシステムを開発した．このシステムを建設現場に適用し，KPI に基づく評価が施工管理に有効であることがわかったので，本稿ではシステムの概要と適用結果を示し，運用効果について考察する．

2. KPI の考え方と評価すべき施工管理項目

(1) KPI について

KPI とはプロジェクトに関する目標をどの程度達成しているか示す指標 [1]であり，常に変動する値である．例えば製造業の生産工場では不良品の発生率が KPI であり，KPI を規定値以下に抑えることが重要とされる．建設現場の施工管理業務においても，品質基準，出来形管理基準，進捗率，無災害目標時間などの様々な目標値が存在しており，これらが KPI に該当する．本研究では，KPI を作業の計画値と実績値の対比により，現場の作業状況の良否を評価できる数値と定義する．

(2) 建設現場で取得すべき KPI の選定

現場技術者が作業の良否を判断する際，指標とする注目ポイントが存在する．映像から現場の作業状況を評価するためには，そのポイントを明らかにするとともに，それらを指標化し，映像分析技術で検出する必要がある．そこで，異なる現場に所属していた複数の現場技術者に対して，施工管理業務の中で注目しているポイントについてヒアリング調査を実施した [2]．調査では，土工，構造物，ダム，トンネル，港湾，仮設など様々な工種の作

業風景写真を提示し，各作業を管理すると想定した時に注目するモノ，動きについて回答してもらった．なお，回答者は所長 3 人，工事課長 3 人，主任 7 人，若手 4 人の合計 17 人である．

調査の結果，290 個の注目ポイントが挙げられた．それらを QCDSE の 5 項目に分類して集計した結果を**図-1** に示す．安全と工程に関するものがそれぞれ 142 個，79 個で上位となった．労働災害ゼロは全ての工種において共通の目標であり，安全関連の注目ポイントが最も多くなったと考える．また，日々の歩掛を把握して出来高から工程遅延を判断することも全職位において基本的な業務であり，工程関連も回答数が多かった．土砂運搬作業についての回答結果の一例を**表-1** に示す．土砂運搬作業での注目ポイントは工程，安全，品質に大別され，工程に関してはダンプの運搬間隔やバックホウの無駄な待機時間が挙げられている．安全に関しては重機が稼働，走行する立入禁止エリアへの進入に気を配っていることがわかる．上記の注目ポイントを KPI として，それらを映像から検出，把握できれば建設現場の作業状況を客観的に評価できると考え，本研究ではヒアリング調査にて上位であった工程と安全に関する KPI を取得できる施工マネジメントシステムを開発し，現場に適用した．

3. 映像を使った施工マネジメントシステムの開発と現場導入

(1) 適用現場と設置機器

適用現場の選定にあたっては，建機を用いた土工事と作業員の立入禁止範囲が存在することを条件とし，**図-2** に示す堤高 58m，堤頂長 190m の重力式コンクリートダムの構築現場を選定した．左岸側の基礎掘削作業を右岸側の定点カメラで撮影し，工程管理に関する KPI を取得するためのデータとする．また，上流側の仮設備設置作業をさらに上流の定点カメラで撮影し，安全管理に関する KPI を取得するためのデータとする．**図-3,4** はそれぞれの定点カメラで撮影した映像から抽出した画像である．なお，**図-3** の建機を囲む矩形は後述する物体検出 AI による建機の検出結果である．撮影した映像は現場内の NAS（Network Attached Storage）に保存した後，ネットワークを通してクラウド上のサーバにアップロードされる．

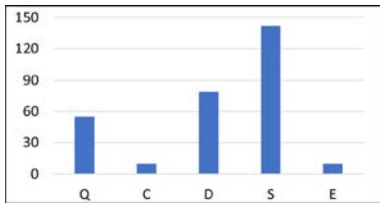


図-1 注目ポイントの集計結果

表-1 土砂運搬作業の注目ポイントと KPI（ヒアリング結果）

区分	注目ポイント	KPI
工程	運搬時間はどれくらいか	サイクルタイム
	ダンプが渋滞していないか	建機の稼動率
	バックホウのムダな待機時間	建機の稼動率
安全	作業員と稼働建機の接触	作業員との離隔
	車両の走行ルートへの立入	立入禁止エリアへの進入
	作業エリアの明示	安全設備の位置
品質	土砂の含水比は適切か	水分量、色味
	粒形は基準値以内か	寸法、含有量
	受け入れ先の基準に沿った性状か	含水率、粒形など

(2) 掘削作業の進捗を評価するシステム

a) システムの概要

アップロードされた映像から建機を自動検出し，建機の稼動率から進捗状況を評価するシステムである．稼動すべき建機が停止していると進捗が滞っていると判断できる．**図-5** にデータの分析フローを示す．

本システムでは，これまでに開発した物体検出 AI[3]を



図-2 ダム現場の全景とカメラ配置



図-3 左岸側の基礎掘削作業と物体検出 AI による検出結果



図-4 上流側の仮設備設置作業

用いて映像中の建機を検出している．AI モデルは Microsoft Azure Custom Vision で作成しており，学習データは，今回の適用現場と他の同様の土工事で収集した画像を利用している．検出対象は掘削作業で用いられるバックホウ，ブルドーザ，ダンプの 3 種類である．**図-3** は物体検出 AI が未知の映像から建機を検出し，BB（Bounding Box）で示したものである．

次に，検出した建機を 3 秒毎にトラッキングし，BB の移動量からその建機の稼動／停止状態を判定する．60 秒間に各建機の BB 移動量が一定値以上であれば稼働，未満であれば停止と判定している．トラッキングと稼動／停止判定を繰り返すことで，検出した建機の稼動時間と停止時間が計測され，稼働率（稼動時間／（稼動時間＋停止時間））の実績値が計算される．技術者が現場事務所等で確認するシステム画面では，**図-6** に示すように 3 種類の建機毎の稼働率や稼働停止した時間帯を時間軸上に表示しており，稼働率の実績値が事前に入力した計画稼働率を下回る建機は，停止時間が多く問題があるとして，画面上の建機名が赤色となって警告表示される．

b) 適用結果と運用効果

図-6 は適用現場の掘削作業において，2022 年 12 月 6 日に計測された結果である．計画稼働率は 50%に設定している．映像中では，6 台のバックホウと 2 台のダンプ，1 台のブルドーザが検出されており，停止時間が占める割合が多く稼働率が 32%と 18%のバックホウ 01,02 に KPI 低下の警告が出ている．またバックホウ 01 はアタッチメントを取り換えた岩盤を破砕するブレーカーであり，8:45 から作業を開始していたが，作業中は移動や旋回頻度が低く BB の移動量が小さく稼働していてもシステム上で停止状態にあると判定されることがあり，稼働率が実際よりも低く評価されている．ブレーカーのようにその場に留まって作業する建機の場合，現状の判定方法では課題があることがわかった．バックホウ 02 は法面掘削を担当していたが，9:00 過ぎまで停止状態にあり，ムダな時間が生じていた．その後作業を開始しているが，9:30 頃にトラッキングが途切れたためデータも途切れている．トラッキングが途切れる現象はバックホウ 03,04,06，ブルドーザ 01 でも発生している．バックホウ 05 は土砂をダンプに積み込む作業を担当しており，ダンプが途切れることなく入場するため，休む間もなく 96%稼動し高い KPI を維持している．また，ダンプ 01,02 が 90%台の高い KPI を示していることから，積込の順番待ちは発生しておらず，積込と運搬がスムーズに進捗していることがわかる．

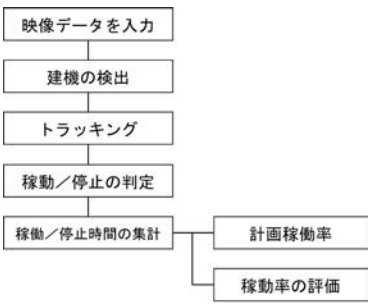


図-5　映像データから稼働率を評価するフロー

以上に示すような適用の結果，現場運用時には次のような効果を現場技術者とともに確認した．

- 現場に張り付かずとも自動でデータが蓄積されるので，現場巡視時間が削減された．
- 全てのデータを確認せずとも KPI が低下した建機がわかるので，問題箇所の把握と原因究明に集中できた．
- KPI が低い建機に別の作業を割り振ることで，ムダな停止時間を削減した．

(3)　立入禁止エリアでのリスクを評価するシステム

a)　システムの概要

映像から人物を検出し，立入禁止エリアへの進入回数からリスクを評価するシステムである．リスクの指標化には，労働災害の重篤度と災害が発生する可能性を組み合わせて危険性を評価するリスクアセスメント [4]を参考にした．このシステムでは，立入禁止エリアに対して危険度を 1～3 で設定し，危険度と該当エリアへの進入回数を乗算して求めたリスクの値を KPI としている（**表-2**）．立入禁止エリアへの進入回数が増すごとに KPI が大きくなり，そのエリアにおける労働災害発生の可能性が高まっていると評価する．これは，重大な労働災害の背景には多数のヒヤリハットが存在するというハインリッヒの法則に倣った考え方である．

図-7 にデータの分析フローを示す．立入禁止エリアへの人物の進入検知には，人物の検出，特徴点の抽出，特徴点のトラッキングの 3 段階の映像解析を用いており，

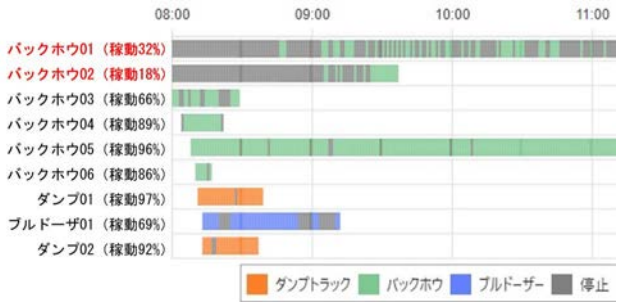


図-6　各建機の稼動率の実績と KPI が低下した時の警告

表-2　リスクを計算した例

立入禁止エリア	危険度		進入回数		リスク
A	1	×	5	=	5
B	2	×	2	=	4
C	3	×	4	=	12

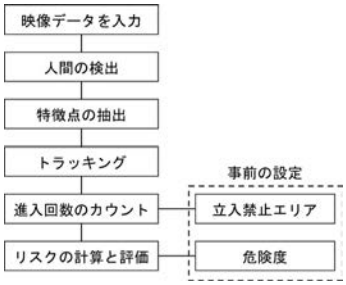


図-7　映像データからリスクを評価するフロー

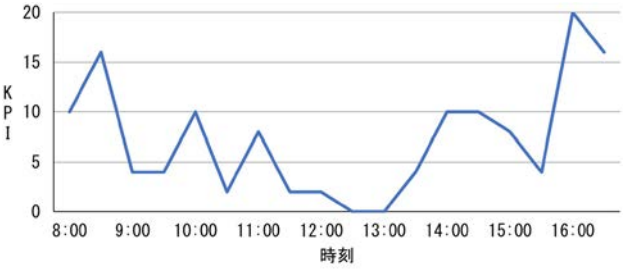


図-9　時間帯による KPI の変動

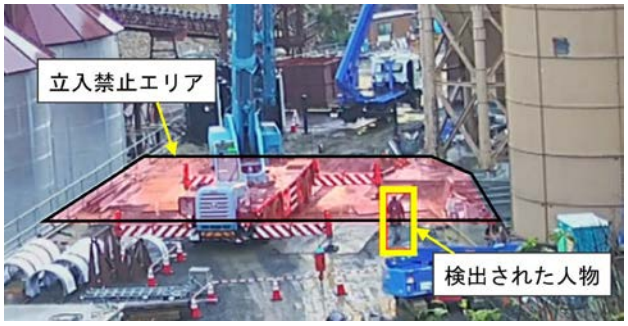


図-8　システムが人物を検出した状況

事前に設定した立入禁止エリアへの進入をカウントする．その後，立入禁止エリアの危険度と進入回数からリスクを計算し出力する．システムは現場技術者が使いやすい簡便なものにするため，画面上をクリックして多角形を描くことにより立入禁止エリアを設定する機能や人物を検出した時刻のスクリーンショットを自動で記録するエビデンス記録機能を実装している．

b)　適用結果と運用効果

リスクを評価するシステムを設備工事に対して適用した．**図-8** は立入禁止エリアに進入した人物がシステム上で検出された様子である．クレーンのアウトリガー周辺と吊荷が往来する範囲を立入禁止エリアとし，危険度は 2 に設定している．**図-9** は 2022 年 12 月 8 日の 8:00～17:00 における 30 分間毎の KPI を示したものである．1 日を通してクレーンによる組立作業を実施していたが，KPI は時間帯によって変動していることがわかる．実映像を目視判読した結果と比較すると，次のようなことがわかった．8:30 ごろはリスクが 16 と高い状態であり，これは作業開始時の資材移動に伴って立入禁止エリアの一部を横切った人が多かったことが影響している．資材移動の完了後にはリスクは 10 以下まで低下し，12:00～13:00 の昼休憩時には 0 になった．昼休憩が終わり作業が再開すると作業者の往来によりリスクが増加した．16:00 過ぎに急増し 20 を示しているが，この時間帯には既にクレーン作業が終了し立入禁止制限が解除されており，片付け等で通行する人物が多く検出されたことによる．

以上のように KPI の推移を計測できるようになった結果，現場運用時には次のような効果があると考える．

・KPI が高くなる時間帯の作業を特定し，その作業実施時にパトロールを実施することで，不安全行動の抑制につながり労働災害の軽減効果が期待できる．

・KPI が高い作業に対して安全教育等の対策を行った後，KPI が低下すれば対策の妥当性が定量的に評価できる．

・不安全行動への即時的なアラート発報とは異なった視点での安全管理が実施できる．

4.　おわりに

技術者の眼に代わり現場状況を把握するため，映像から取得可能な KPI として建機の稼動率と安全上のリスクを評価する施工マネジメントシステムを開発し現場に適用した．本研究で明らかになったことを以下に整理する．

・現場技術者が施工管理業務の中で注目しているポイントは作業の評価指標を表す KPI となる．

・建機の稼動率を KPI として進捗状況を評価することで，ムダが多い建機を特定し，原因究明と改善に役立つ．

・立入禁止エリアへの進入回数で求める KPI からリスクを評価することで，これまでとは異なった視点での安全管理が実施できる．

以上のように，KPI の考え方を用いた施工マネジメントシステムは工程遅延の原因やヒヤリハットを発見して作業の良否を判断できるシステムだと考える．今後は単独の作業の問題点を提示するだけでなく，各作業の関連を考慮し，より俯瞰した視点で原因分析に取り組みたい．

参考文献

1)　CA. Binoy Joy: Project Management KPI's in Infrastructure Developments, IJETSR, Vol.4, Issue9, pp. 422-431, 2017.

2)　早川健太郎，蒔苗耕司，黒台昌弘：映像処理と KPI を用いた建設マネジメント手法，土木建設技術発表会 2022 講演概要集, pp. Ⅱ-8, 2022.

3)　早川健太郎，黒台昌弘，増田裕正，蒔苗耕司：AI による建設機械検出システムの開発と検出精度を向上する試み，第 1 回 AI・データサイエンスシンポジウム論文集, pp. 313-319, 2020.

4)　厚生労働省，都道府県労働局，労働基準監督署：荷役作業時における墜落・転落災害防止のための安全マニュアル, pp. 22, 2009.