

技術論文

建設機械の稼働見える化による生産性向上 Productivity Improvement by Visualization of Construction Machinery Operation

清水 実
Minoru Shimizu
松村 学樹
Satoki Matsumura

建設機械の稼働する現場では労働力不足が深刻な問題となっており、必要な品質を確保しつつ、一定の生産量を確保する為には、生産の省人化、効率化、高度化を通じた生産性の向上が必要である。この課題に対して実施した、ICT/IoT 技術を活用した建設機械の稼働見える化による生産性向上の研究と適応事例について報告する。

Labor shortage has been a serious problem in worksites operating construction machineries. To secure the production amount while maintaining the quality, the productivity improvement through manpower reduction, greater efficiency, and sophistication in production is necessary. We would like to report the study and the applicable cases of the productivity improvement by visualization of construction machinery operation utilizing ICT/IoT implemented for this problem.

Key Words: 稼働見える化, ICT, IoT, ガイダンスモニタ

1. はじめに

我が国は2010年の1億2806万人をピークに人口減少が始まり、しかも極めて速いスピードで高齢化も進みつつある。2030年までの20年間、貴重な労働力である生産年齢人口は毎年1%近く減少していくと見込まれている。国交省が推進する建設現場生産性向上プロジェクトである「i-Construction」における「3つの視点」の1つに「建設現場を最先端の工場へ」という提言がある。工場の生産現場では、生産工程の現状把握、見える化を行い、工程別に工数やコストをどのように低減するかといった「改善活動」を当たり前に行ってきたり、Industry4.0やICT/IoT技術の進展により、これらの活動は急速に高度化している。このような工場のものづくりの現場で行われてきた生産技術的な改善活動を建機の稼働する現場において応用することで、同様に生産性を向上させる活動に取り組んでいる。

2. 建設機械の稼働見える化システム

2.1 開発の背景とねらい

コマツの建設機械には数多くの各種センサが搭載されており、建設機械が発信する情報を通信衛星回線や携帯電話回線を通してサーバに集積するシステムである「KOMTRAX」というものが既にある。但し、KOMTRAXの情報は1日のサマリーデータであり、工場の生産現場で

行われている生産工程の見える化と同様の現状把握を行うことはできない。例えば「燃費が悪い」ことが分かっても「いつ、どこで、どのような作業をしているときに」燃費が悪いのかが分からない為、具体的な生産性の改善方法を検討することは難しい。このような課題を解決する為、建設機械から取得可能な詳細な稼働データをクラウドサーバに蓄積、解析する「建設機械の稼働見える化システム」の開発、構築を行った。

2.2 見える化システムの全体像

この見える化システム(図1)は、建設機械にIoTデバイス(タブレット端末)を後付けすることで、建設機械のセンサデータを10Hzで収集、建設機械の作業分類(走行、掘削等)、ペイロード値等について収集データを元にエッジ端末で演算を行う。収集データと演算データを携帯回線でクラウドに転送する。クラウドに蓄積したビッグデータに対して、BIツールを用いて自動解析、建設機械の稼働状況を見える化するシステムである。データ収集方法として、車載CANネットワークにアクセスしてデータの収集を行う。このようにすることで車両の制御に使用する詳細な車両CANデータを後付け端末で収集することが可能になる。データ収集の為のハードウェアに関しては市販のタブレットPCを使用し、既存の車両に簡単に後付けできる構成とした。必要なスペックは以下の通りであり、特定のタブレットには依存しない。

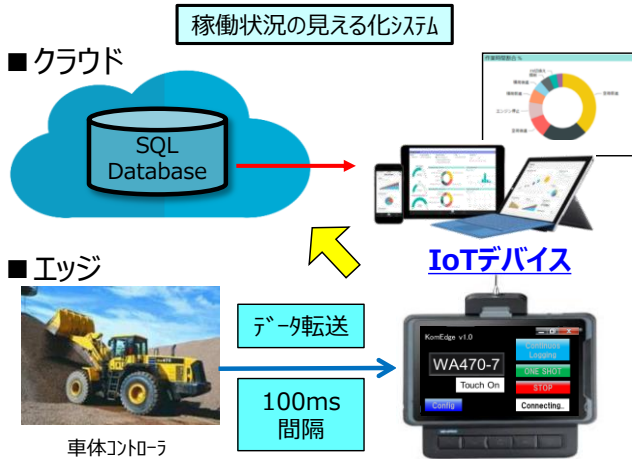


図1 稼働見える化システム

2.3 見える化の具体例

見える化の具体例が図2となる。建設機械での作業時間の作業分類（走行、掘削等）ごとの内訳を確認することができる。このような情報により、作業別に現状工数の割合を把握して価値のある正味作業（掘削、積荷走行）、価値のない付帯作業（アイドリング、空荷走行）の割合を見える化することで、どのような改善を行えば良いかを検討することが可能になる。これは工場のものづくりの現場で行っている生産工程の工数の現状把握及び改善手法と同様の活動である。車両の詳細な稼働データを収集することで、このようなことが可能になる。

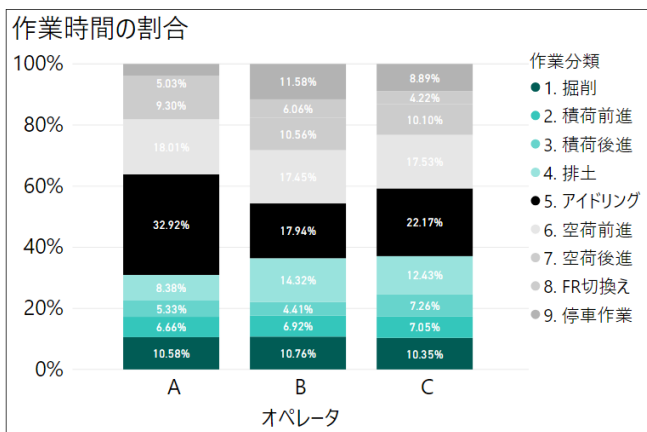


図2 稼働見える化の具体例

2.4 改善事例

建設機械の稼働見える化システムを用いて実際に実施した改善活動について紹介する。以降、建設機械の車両として「ホイールローダ」(図3)を題材に説明する。ホイールローダは主に土砂や碎石などの積み運搬作業で使用されるタイヤ駆動系を有する建設機械である。ホイールローダにおける稼働データを収集した結果、アクセルの踏込量が他のオペレータと比較して多い(常に最大限まで踏

み込んで走行する) オペレータがいるということが分かった場合、このような操作方法に対してはアクセルの踏込量を抑える、登坂時には切換え可能な車両の走行モードを適切に使用する等をリコメンドすることで、アクセルの踏込量を12.4%低減するといった結果を得ることができた(図4)。また掘削～積み込みまでのサイクルタイムが長いということが分かったオペレータに対しては、走行経路をGPS情報から見える化、不要な走行経路がある場合は走行経路を適切にすることをリコメンドすることでサイクルタイムを10%低減する結果を得ることができた。



図3 ホイールローダ

このような活動はリコメンドを行うだけではなく、操作が実際に改善されているかどうかを稼働データによるモニタリングを継続的に行い、現場に改善効果が定着するように進める必要がある。また生産量は低減していないことをデータで示す必要がある。例えば「アクセルの踏込量を抑える」といった提案を行った場合「生産量が少なくなるのではないか」といったことは懸念事項として必ずあるが、実際にアクセルを80%程度で走行を行った場合も生産量が低減しないことをデータで示すことができれば、顧客の現場管理監督者も納得して作業を進めることができる。建設機械が現場の生産工程のネックでない場合はこのようなことは十分にあり得る。このような改善活動を行うことでユーザの燃費(L/H)を15%~20%改善するといった結果を得ることができた。

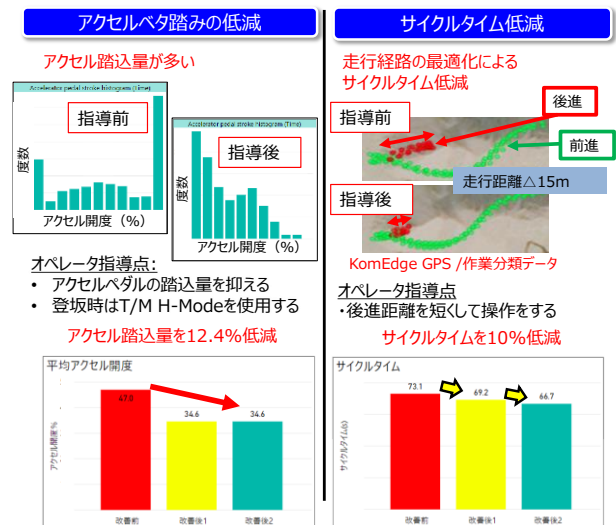


図4 ホイールローダにおける改善事例

3. 掘削技能の見える化

3.1 開発の背景とねらい

2項で説明した活動において、詳細な稼働データを用いることで現場生産性を向上する事例を得ることができたが、課題も明らかとなった。建設機械の「走行」においては改善することができたが、土を掘る「掘削」という作業は、改善代は大きい但实际上に改善することが難しいということが明らかとなった。作業分類ごとの燃費、燃料消費量の割合は図5、図6となる。図5から明らかな通り、掘削は最も燃費が悪い高負荷作業であり、燃料消費量の割合も高いことが分かる。掘削時間(s)と掘削燃料消費量(mL)を掘削ごとにプロットしたグラフが図7となる。これを見ると明らかな通り、掘削時間と掘削燃料消費量には強い相関があることが分かる。つまり、掘削時間が短ければ、燃料消費量は少ないということである。掘削時間(s)と掘削土量(ton)をプロットしたグラフが図8となる。この掘削データの中で、掘削時間が短く(燃料消費量が少なく)、かつ掘削土量の多い掘削が燃料消費量も少なく掘削土量も多い「生産性の高い掘削」であることが分かる。この「生産性の高い」掘削操作と「生産性の低い」掘削操作の差の比較を行うと、操作の違いがあることが分かる(図9)。このような技能の差を、オペレータに伝えて、操作改善を定着させることは困難であることが掘削技能の改善が難しい理由である。このような課題を解決する為に、掘削技能の差を見える化、操作改善を行うツール「オペガイダンスモニタ」の開発を行った。

作業ごとの燃料消費量L割合

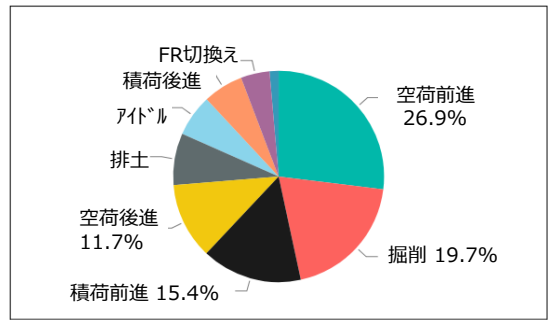


図6 作業分類ごと消費燃料割合

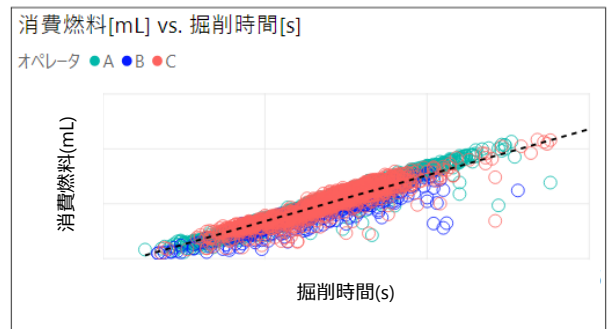


図7 消費燃料、掘削時間

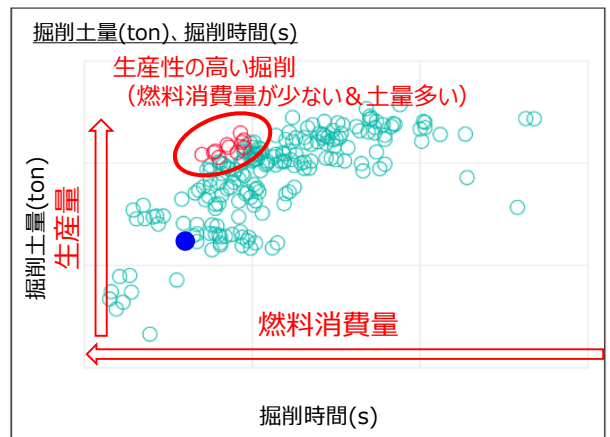


図8 掘削土量、掘削時間

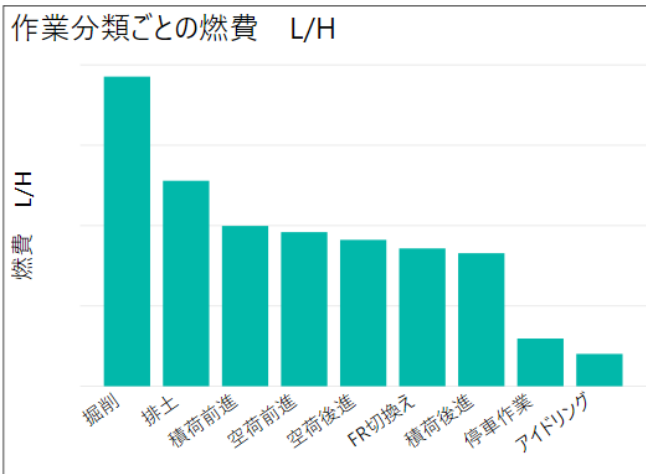


図5 作業分類ごと燃費

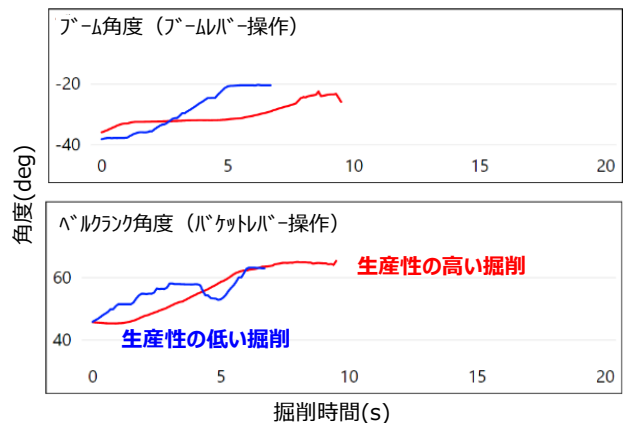


図9 生産性の高い掘削、低い掘削

3.2 オペガイダンスモニタ

掘削技能の差を見える化する「オペガイダンスモニタ」(図 10) について説明する。このモニタは現場ごとに収集した掘削データから、図 8 の考え方に基づいて、掘削時間が短く、かつ掘削土量の多い掘削データを生産性の高い掘削データとして抽出する。抽出したデータから見本となる操作(教師操作データ)を生成する。生成した教師操作データとオペレータの掘削操作技能の差を見える化して、掘削操作を改善するモニタとなる。図 10 のモニタ中央右のバー表示は、オペレータの操作(バケットレバー、ブームレバー、アクセル)と教師操作データの差を色で表している。バケットレバー及びブームレバーはホイールローダの作業機を操作する為のレバーであり、ブームレバーは「ブーム角度」、バケットレバーは「ベルクランク角度」を変更する為のレバーとなる(図 11)。赤であれば教師操作データに対して操作が大きすぎる、黄であれば操作が小さい、緑であれば操作が同程度の意味となる。モニタ右上の波形はバケットの地面に対する刃先角度の時間推移を表しており、白線が教師操作データ、青線がオペレータの操作となる。モニタ左上には掘削スコアを 0~100 点で表示している。掘削スコアは教師操作データにおける掘削時間及び掘削土量に対して、どの程度差異があるかでスコアを決定している。表示は掘削操作を行うごとに結果がモニタに表示される。また、教師操作データについても掘削操作を行うごとに更新される。つまり、現場で様々なオペレータによる掘削操作を継続すれば、より良い教師操作データが生成される。

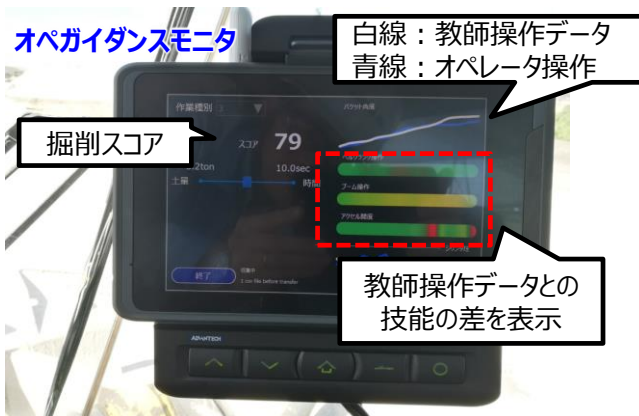


図 10 オペガイダンスモニタ

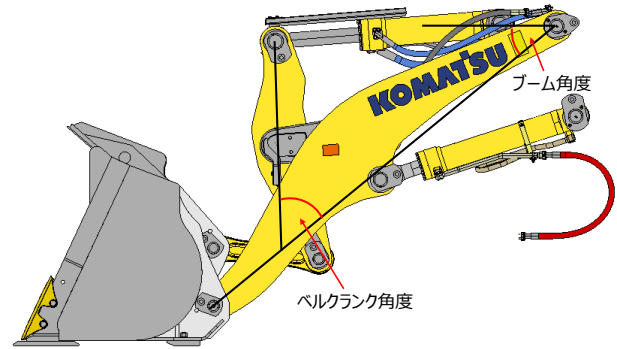


図 11 ブーム角度、ベルクランク角度

3.3 掘削操作の差の見える化方法

掘削操作は掘削を行うごとに掘削時間が異なる為、単純に操作の差を比較することはできない。その為、正規化を行うことで差分を比較する(図 12)。詳細を以下記述する。掘削区間での時刻 t ($0 \sim T$) でのアクセル開度 $S(t)$ 、ブーム角度 $AngB(t)$ 、ベルクランク角度 $AngC(t)$ とする。ブーム角度、ベルクランク角度は建設機械の作業機の角度である。掘削時間 T (掘削にかかる時間) は掘削ごとに变化するので、掘削区間を 100% としてアクセル開度、ブーム角度、ベルクランク角度を% に対する値に変換する。区間データ数を共通にするため、100% で $n=100$ 個のデータになるようにする。掘削区間は $k=0 \sim n$ として、各掘削の $S(t)$ 、 $AngB(t)$ 、 $AngC(t)$ から $AngB(k)$ 、 $AngC(k)$ を計算する。 $k=0 \sim n$ のとき時刻 $t=r*k$ ($r=T/n$) の $S(t)$ 、 $AngB(t)$ 、 $AngC(t)$ を内挿して求める。 $k=0$ 、 n の場合の値は、 $t=0$ 、 T の場合の値になり、 $0 < k < n$ の場合は以下の式で線形補完する。

$t'=k*T/n$ の場合

$timeBfr=$

(t' 以下の最も近い取得データの時間)

$timeAft=$

(t' 以上の最も近い取得データの時間)

と定義した場合

$S(k)$

$= S(timeBfr)$

$+ (t' - timeBfr) * \{ (S(timeAft) - S(timeBfr)) / (timeAft - timeBfr) \}$

同様に $AngB(k)$ 、 $AngC(k)$ を計算する。

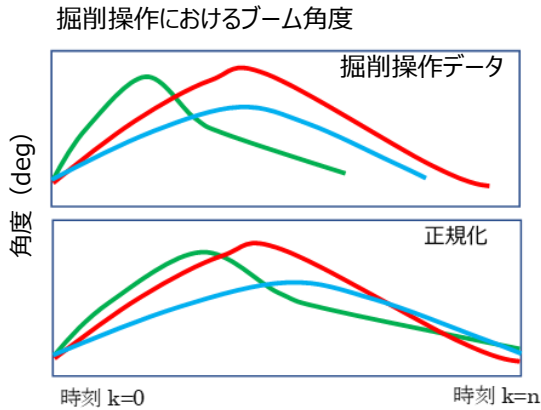


図 12 掘削操作データの正規化（例：ブーム角度）

3.4 改善事例

オペガイダンスモニタを用いて、顧客現場での操作改善テストを実施した。新人オペレータ（6名）の掘削技能習熟の教育にオペガイダンスモニタを使用した。テスト方法として、まずオペガイダンスモニタを建設機械に取付して顧客現場の熟練オペレータ及びコマツのテストドライバーが実際に掘削操作を行うことで教師操作データを生成する。生成した教師操作データを元に、新人オペレータの掘削トレーニングを3日間行った。結果は図 13 となる。オペレータ 6名全員で掘削時間、掘削燃料消費量の改善が確認され、平均で掘削時間を 19%、燃料消費量を 15%低減する結果が得られた。

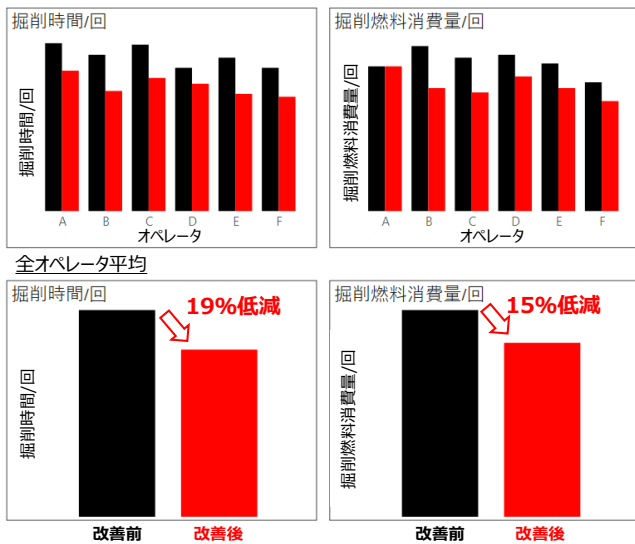


図 13 新人掘削技能習熟テスト結果

掘削操作の改善について詳細を記述する。新人オペレータの改善前のモニタの表示が図 14 となる。これを見ると、アクセル開度（アクセルの踏込量）が黄色になっている、つまり教師操作に対して操作量が足りないということが分かる。

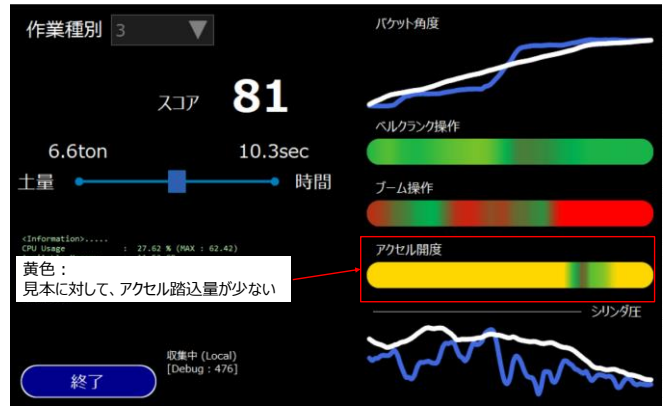


図 14 オペガイダンスモニタ表示

図 7 でも明らかな通り、掘削時間と掘削消費燃料には強い相関があり、燃料消費量を低減する為には掘削時間を低減すれば良い。走行ではアクセルを踏み込みすぎると燃費に悪影響があるが、掘削においてはアクセルを十分に踏み込んで操作を行い短時間で終了することで結果として燃料消費量は少なくなり、生産性の高い掘削となる。モニタの表示をオペレータが確認することで自分自身の掘削操作においてアクセルの踏込量が十分ではないことが分かり、どのように改善すれば良いかが分かる。改善前、改善後のアクセル踏込量の波形グラフが図 15 となる。これを見ると明らかな通り、改善前と改善後でアクセルの踏込量が増加していることが分かる。また、作業機角度（ベルクランク角度）の改善前、改善後の結果が図 16 となる。これを見ると明らかな通り、作業機角度も改善後は教師操作データとほぼ同様になっていることが分かる。オペガイダンスモニタを用いた掘削技能習熟教育テスト後にオペレータへヒアリングを行った結果、点数で良いか悪いかを判断できるだけでなく、どのように操作を行えば改善可能か分かる点が良いというご意見を頂くことができた。

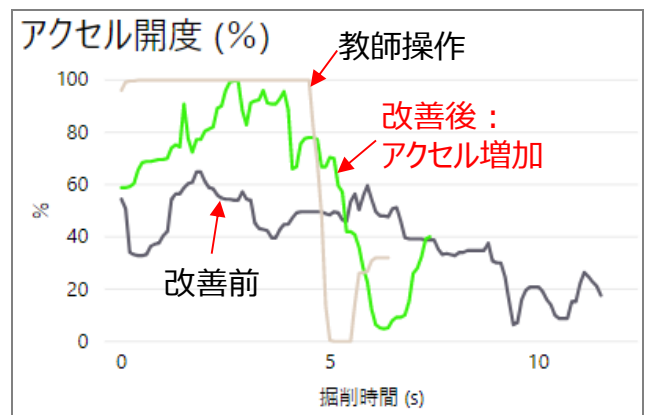


図 15 アクセル開度

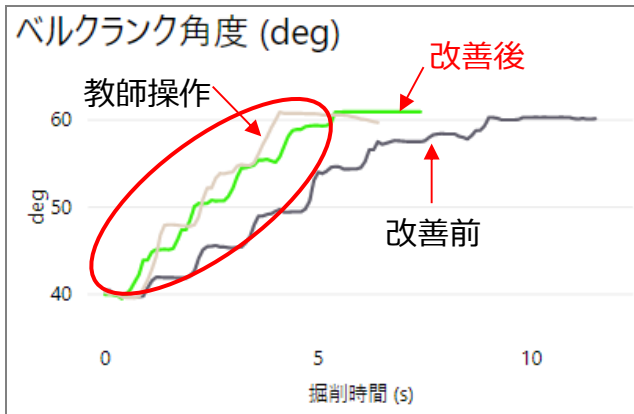


図 16 作業機角度（ベルクランク角度）

4. おわりに

「建設機械稼働見える化による生産性向上」の研究・開発において得られた結果を以下に記述する。

- (1) 建設機械から詳細な稼働データを収集、稼働状況を見える化するシステムを開発、走行や掘削等の挙動を数値的に解析することで現場作業の改善を行った。
- (2) 建設機械の作業の中で、技能改善の難易度の高い掘削操作に関して、技能の差を見える化するオペガイダンスモニタの開発を行い、ユーザテストにおいて改善効果があることを確認した。

参考文献

- 【1】 小宮山宏，小澤一雅，建山和由，田中里沙，富山和彦，藤沢久美，“i-Construction 委員会報告書”，2016年

著者紹介



Minoru Shimizu
 しみず みのる
 清水 実 2011年，コマツ入社。
 生産本部 生産技術開発センター所属



Satoki Matsumura
 まつむら さと
 松村 学樹 2001年，コマツ入社。
 生産本部 生産技術開発センター所属

【筆者から一言】

今後、建設機械の稼働する現場で ICT/IoT 技術が活用され、稼働現場の生産性向上が更に進むことを期待したい。その為に、建設機械が稼働する現場を十分に理解した上で、潜在的な問題点を把握し、その問題点を解決する為に必要な ICT/IoT 技術開発を進めたい。