

クラウドを活用した 鉱山運行管理システムの概念実証

袖山 健
Sodeyama Ken

高田 芽衣
Takada May

羽根 慎吾
Hane Shingo

古野 義紀
Furuno Yoshinori

渡邊 洋
Watanabe Hiroshi

近年のマイニングビジネスにおける経営戦略は、積極投資による生産量の拡大から、オペレーティングコストの低減と生産効率の向上による効率性重視へと転換しつつある。このような背景の下、今回、Wenco 社が開発・製造・販売・保守を手がける鉱山運行管理システム (FMS) へのクラウド技術適用の概念実証を行った。これは、日立

のクラウド (データセンター) にFMSのシステム基盤を構築し、インターネットを介してクラウドサービスの形態でFMSを提供することで、システムの性能を検証するものである。この検証により、実現に向けて技術的な見通しを得るとともに今後の改善すべきポイントを明確化しており、今後は事業化を進めていく。

1. はじめに

鉱山から鉱物を採掘して販売するマイニングビジネスにおいては、近年の鉱物価格の不安定化や採掘費用の増大に伴い、安定的な収益の確保が鉱山会社の経営課題となっている。これまでは積極投資による生産量拡大を軸とした経営戦略であったが、オペレーティングコストの低減と生産効率の向上を図る効率性重視の経営戦略への転換が進められている。鉱山会社のオペレーティングコストは、環境規制への対応や採掘の高深度化などによって年々増大しており、また、熟練技術者の高齢化やオペレータの採用難に伴う人件費の高騰も近々の課題となっている。生産効率の観点では、マイニングビジネスは他業界と比較して設備稼働率が依然低い水準であり、新たな投資が難しい状況下で、現有資産をいかに有効活用していくかが生産性向上の課題となっている。

日立建機株式会社のカナダ子会社である Wenco 社 (Wenco International Mining Systems Ltd.) が提供する鉱山運行管理システム (FMS : Fleet Management System) は、鉱山サイトのダンプトラックやショベルなどの機器の状態を管理するシステムである。ディスパッチャと呼ばれる配車担当者が、FMSを用いて各車両のオペレータへ配車指示を行うことで生産効率の向上を図っている。通常、FMSの導入は鉱山サイトごとに行われるが、例えばへき地にある鉱山サイトの場合は、システム技術者の採用や、安定的な電

源確保など、システムの維持管理の面で課題がある場合が多い。システムの停止は生産性の低下につながるため、システムの安定稼働が鉱山会社において課題となっている。

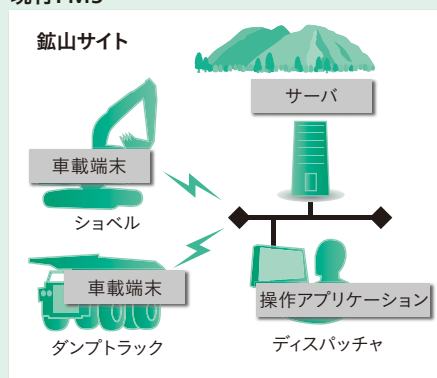
一方、日立はO&M (Operation and Maintenance) クラウドサービスとして、社会インフラ事業の運用 (Operation)・保守 (Maintenance) に関わる情報の収集・分析を通じて、現場での予防保全や運用管理への適用から、運用・経営への活用までのサービスを提供している。これにより、社会インフラ運営事業者の安定的かつ柔軟な運用・保守の実現をサポートしている。

マイニングビジネスにおいて、鉱山会社が抱える上述のような運用上の課題は、Wenco社のFMSをクラウドサービスとして提供することで解決できると考えている。今回、FMSのクラウド化に際しての技術課題の解決や性能評価を目的に、Wenco社と共同でPoC (Proof of Concept : 概念実証) を行った。ここでは、その実施内容と結果について述べる。

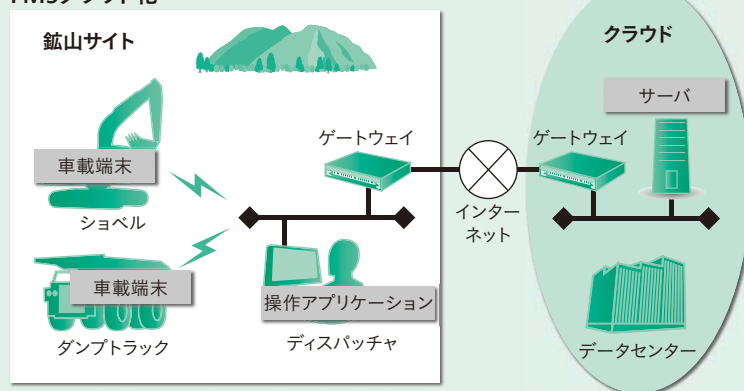
2. FMSクラウド化のコンセプト

ここでは、現行のWenco社のFMSの構成、特徴、クラウド化のコンセプト、および実現のための課題について述べる。

現行FMS



FMSクラウド化



注：略語説明 FMS (Fleet Management System)

図1 現行FMSとFMSクラウド化のシステム概念図

クラウド化したFMSにおいては、鉱山サイトの車載端末や操作アプリケーションと、クラウド上にあるサーバとを、ゲートウェイを介してインターネットで接続する。

2.1 現行のFMSの運用環境

FMSは、FMSのソフトウェアが動作するサーバ、各車両に搭載される車載端末、ディスパッチャが配車操作を行う操作アプリケーションで構成されている。サーバと車載端末の間は無線LAN (Local Area Network) で接続されており、ディスパッチャは操作アプリケーションで各車両の状況を把握し、配車の指示を各車両のオペレータに送っている。サーバには生産量や車両稼働実績などの採掘工程の生産実績情報が逐次記録されている。サーバは、鉱山サイトの一室に設置されているケースが多く、鉱山サイトのシステム技術者によって運用が管理されている。

2.2 FMSクラウド化によるメリット

現行のFMSのシステム概念図、およびクラウド化した際のシステム概略図を図1に示す。鉱山サイトにあったサーバをクラウド上に構築し、車載端末、操作アプリケーションとはゲートウェイを介してインターネットで接続する。

クラウド化により、次の5つのメリットが享受できると考えている。

(1) リモートディスパッチ (遠隔配車)

クラウド化によって車載端末とサーバ、操作アプリケーションはゲートウェイを介してインターネットで接続されるため、操作アプリケーションを鉱山サイト外に設置することが可能となり、リモートセンターなどからの遠隔配車を実現する(図2参照)。例えば、へき地の鉱山ではディスパッチャの採用や配置が困難な場合が多いため、都市部にリモートセンターを置くことで、リモートディスパッチ構成でのFMSの導入ができるようになる。

(2) 導入容易性

鉱山サイトでのサーバ構築が不要となるため、FMSが短期かつ低コストで導入できるようになる。初期投資が抑えられるため、FMSの導入促進が期待できる。

(3) 信頼性と安定性

強固なクラウド基盤の上にサーバを構築することで、サーバの安定稼働、システム障害のリスク低減につながる。

(4) オンデマンド利用

サーバの拡張が容易となるため、導入前のテストなどで、必要なときに必要な分だけ利用するといった使い方が可能となる。

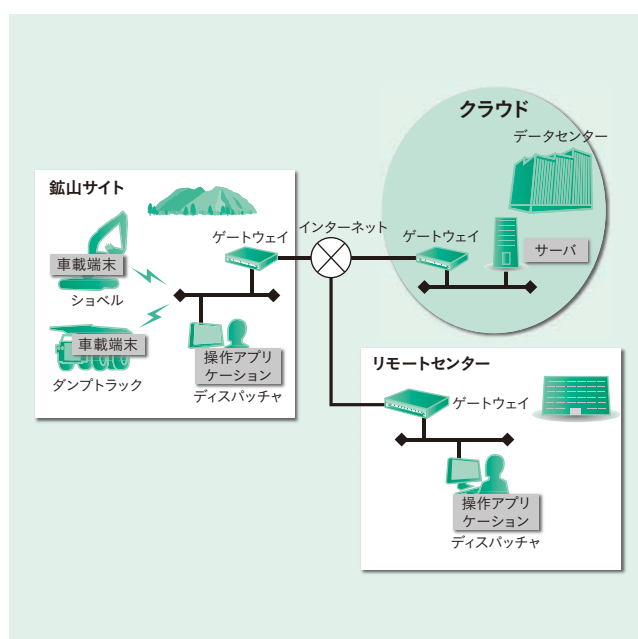


図2 FMSのクラウド化によるリモートディスパッチのシステム構成例
リモートディスパッチにより、例えば、遠隔地にある鉱山の配車指示を都市部に置いたリモートセンターから行うことが可能になる。

(5) モバイル端末などからのアクセス

サーバに蓄積された生産実績情報に、モバイル端末などからいつでも容易にアクセスできるようになり、経営の意思決定スピードアップなどへの寄与が期待できる。

2.3 クラウド化に向けた課題と対策

FMSのクラウド化を実現するにあたり、現行FMSの鉱山サイト内に閉じたシステム構成では問題にはならなかった、新しい課題に直面した。主な課題とその対策は、次の3点である。

(1) 情報セキュリティ(データ秘匿性)の強化

FMSのクラウド化にあたっては、鉱山サイトとクラウド間をインターネットで接続することから、情報セキュリティに十分配慮したシステムとする必要がある。

そこで、通信中のデータを傍受される可能性を考慮し、データの暗号化、通信経路上での改ざん検知、アクセス認証などを行うVPN (Virtual Private Network) 機能を導入した。

(2) 通信制御方式の変更

現行のFMSは、通信がLAN内に閉じることを前提として構成されている。特に、車載端末とサーバ間は主に無線通信区間であり、ここでは頻繁にパケットロスが発生する無線通信を前提とした、非セッション型の通信制御を行っている。クラウド化にあたってインターネットを介した通信を実施するうえでは、鉱山サイトとクラウドの双方において、ファイアウォールによるアクセス制限やアドレス変換を実施しやすい、セッション型の通信制御方式へと変更する必要がある。

そこで、この通信制御方式の変更を実施する新たなゲートウェイ機能を鉱山サイト側に設置するよう実装した(図3参照)。

(3) 通信遅延の低減

FMSのクラウド化にあたっては、鉱山サイトとクラウド間の物理的な距離に応じて通信遅延が発生する。往復の通信応答に相当するRTT (Round Trip Time : 往復の通信遅延) は、一般的に数十ミリ秒～数百ミリ秒となる。さらに、上述の(1)や(2)で説明した新機能が付加されることにより、鉱山サイトとクラウドの双方で処理遅延が追加される。一方、FMSの業務上の特徴として、リアルタイムシステムであることが挙げられる。車両端末、サーバ、操作アプリケーションの各データは、遅延なく同期されていなければならない。この点がクラウド化で解決すべき最も大きな技術課題であった。

そこで、今回この通信遅延を改善するため、日立の特長技術であるWAN (Wide Area Network) 高速化技術の導入効果について検証した。WAN高速化技術は、TCP (Transmission Control Protocol) 通信の速度を向上させるもので、複数拠点間でのファイル共有など、従来は大量データの一齐転送を高速化する目的で導入されるケースが一般的であった。今回は、いわゆるM2M (Machine to Machine) 的な、データサイズが小さく周期的に発生するデータ転送に対する適用を試みた。

PoCにおいては、顧客視点での操作感についての検証をカナダのTeck社 (Teck Resources Limited) と行い、加えて、今後の展開に向けてカナダー日本間の長距離通信時における技術検証を行った。

顧客視点での実現性や、オンプレミスからクラウドシステムの活用へというアーキテクチャ変更に伴う操作性の変化などに関して、実際の鉱山の現場で運用に耐えられるかという視点で検証を実施した。

3. Teck社との概念実証

3.1 評価概要

顧客視点での実現性や、オンプレミスからクラウドシステムの活用へというアーキテクチャ変更に伴う操作性の変化などに関して、実際の鉱山の現場で運用に耐えられるかという視点で検証を実施した。

北米のデータセンターを使用したクラウド上にサーバを構築し、カナダのブリティッシュコロンビア州にあるTeck社のサイトに操作アプリケーションと車載端末を構築して実施した。評価者として、Teck社において現役で配車業務を行っているディスパッチャやそのディスパッチャの指導者などの合計5名に評価を依頼した。

評価項目は、通常の業務でルーチンに行われている主要なFMSの利用方法を想定し、3種の操作アプリケーションに対して合計10の利用シーン(ユースケース)を設けた(表1参照)。評価者は、利用シーンごとに用意した操作内容に沿ってFMSを操作し、操作に対するシステムのレスポンスなどの操作感に関して、Perfect (良好)、Good (問題なし)、Not Good (不便さを感じる)、Bad (業務に支障を来す)の4段階で採点した。

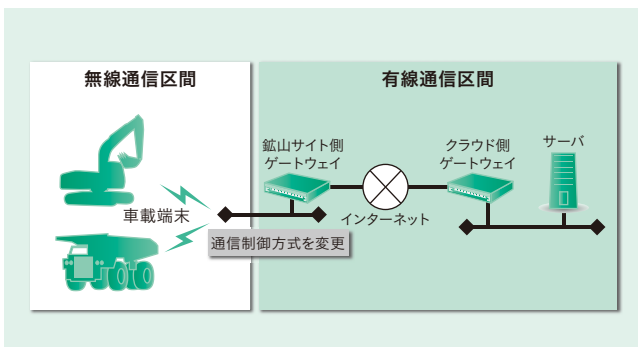


図3 | クラウド化における通信制御方式の変更

クラウド化にあたっては、頻繁にパケットロスが発生する無線通信を前提とした非セッション型から、ファイアウォールによるアクセス制限やアドレス変換を実施しやすいセッション型に通信制御方式を変更する必要がある。

表1 | 評価に使用したFMS利用シーン

通常の業務で行われる主なFMSの利用方法を想定し、合計10の利用シーンを設けた。

操作アプリケーション	利用シーンの例	操作内容の例
配車管理アプリケーション (全4シーン)	トラックのショベルへの配車	トラックに対して、積み込み先であるショベルの変更指示を行う。
位置情報アプリケーション (全4シーン)	鉱山地図編集	採掘場・集積場や、ルートなど地図情報を編集する。
データ管理アプリケーション (全2シーン)	レポート作成	運行記録やその統計データのレポートを出力する。

3.2 評価結果と検討

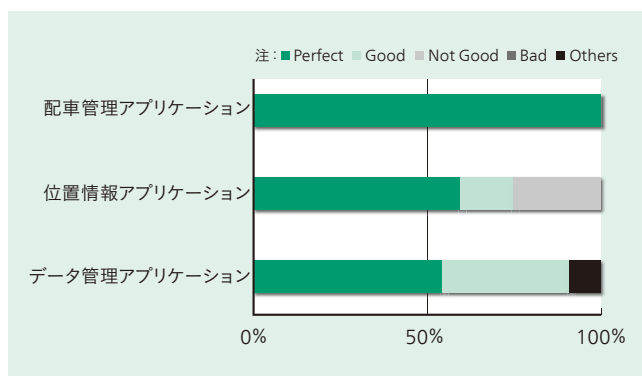
アプリケーションごとに集計し、評価の回答数に応じて色分けを行った(図4参照)。ディスパッチャによる評価では次の3点が分かった。

- (1) 配車管理アプリケーションの操作性は、クラウド化前と変わらず良好である。
- (2) 位置情報アプリケーションは、25%の回答がNot Goodとなった。クラウド化の影響を受け、特定の操作をするときに時間がかかるという課題が明らかになった。
- (3) データ管理アプリケーションは、クラウド化に伴って処理に時間を要するようになった操作もあったが、業務上の支障はないレベルであった。

位置情報アプリケーションにおける操作感の低下は、地図情報の修正後にサーバと操作アプリケーションの間で行われるデータ同期時に動作が遅くなっていることが原因であると分かった。当初、地図情報の修正に伴う同期操作は頻繁に行わないと想定していたが、操作者によっては頻繁にこの機能を利用するため、業務上の課題となることが分かった。

課題究明のためネットワーク通信を解析すると、操作性を落としている間にまとまった量のデータ通信が行われていることが分かった。これらの測定結果を基に定量的に評価・検討し、今後の改善に向け、次の3つの対策で解決できる見通しを得た。

- (1) データ同期中でも操作者が円滑に作業できるように、

**図4 | ディスパッチャによる評価結果**

位置情報アプリケーションで特定の操作を行うときに時間がかかるという課題が明らかになった。

操作アプリケーションの設計を変更する。

- (2) 選択的にデータを同期してサーバと操作アプリケーション間のデータ通信量を削減し、同期時間を短縮する。
- (3) ネットワークの高速化・安定化のために日立のWAN高速化技術を適切に配置し、同期時間を削減する。

4. カナダ-日本間での技術検証

4.1 評価概要

鉱山会社の中には、北米とオーストラリアのように距離の離れた鉱山を複数管理している会社があり、クラウドの設置にあたり、必ずしもすべての鉱山に近接して設置することができないケースもある。特に、大陸間の通信を伴うような長距離構成の場合、WANのRTTが数百ミリ秒以上となり、FMSの応答時間も大幅に遅延の影響を受けることが予想された。そのため、カナダに鉱山サイトを、日本にクラウドをそれぞれ設置し、長距離通信時のFMS動作検証を実施した。

実証システムでは、FMSの基本機能に加え、2.3節に記載した課題に対応する、(1) VPN、(2) FMS新機能、(3) WAN高速化という3つの対策を導入し、ディスパッチャのシステム操作感に支障がないかという確認と、WAN高速化技術による遅延改善効果の比較評価を主な目的とした。

システム構成を表2に示す。このシステムのネットワーク上の帯域ボトルネックは、鉱山サイトのアクセス線として用いたDSL (Digital Subscriber Line) の5 Mビット/sという上限帯域であった。スループットの実測値は平均3 Mビット/sであった。

4.2 評価内容

- FMS基本操作の具体的内容を次の3ステップで定義した。
- (1) 鉱山サイトの特定車両に搭載された車載端末において、オペレータが運行ステータスを手動で変更する。
 - (2) 該当車両の運行ステータス変更情報が、クラウド上のサーバに通知される。

表2 | 概念実証のシステム構成

ネットワーク上の帯域ボトルネックは、DSLの5 Mビット/sという上限帯域であり、スループットの実測値は平均3 Mビット/sであった。

設定項目	値
クラウド設置場所	日本
サイト設置場所	カナダ
クラウド-サイト間距離	約8,000 km
利用するWAN種別	インターネット
サイト側で利用するアクセス線種別	DSL
クラウド-サイト間平均スループット*	下り: 3 Mビット/s, 上り: 3 Mビット/s
平均RTT*	0.17秒

注: 略語説明など WAN (Wide Area Network), DSL (Digital Subscriber Line),

RTT (Round Trip Time)

*クラウド-サイト間平均のスループットおよび平均RTTの計測は、2.3節記載の対策導入前に実施した。

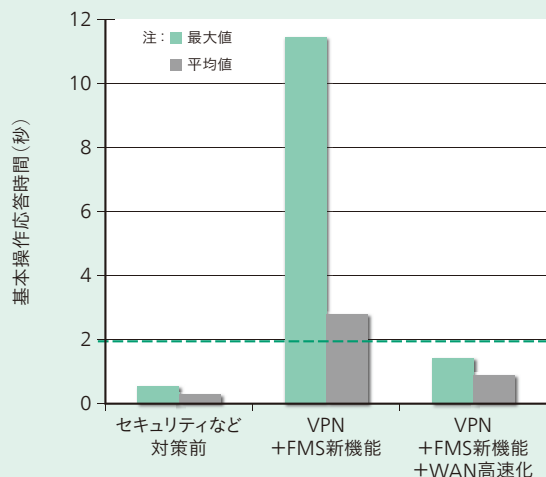


図5 | カナダー日本間での概念実証におけるFMS基本操作応答時間
WAN高速化技術の適用によってFMS基本操作の応答時間が短縮され、ディスプレイパッチャのシステム操作感の許容限界値を下回った。

(3) 該当車両の運行ステータス変更情報が、鉱山サイトの操作アプリケーションに通知され、画面上に表示される。

これら(1)から(3)までの所要時間を応答時間と定義して計測した。さらに、今回の実証の中では、ウェブサイトのユーザー操作に対する応答時間と印象に関する研究¹⁾を参考に、クラウド版FMSのディスプレイパッチャによるシステム操作感の許容限界値を2秒以内と設定した。

4.3 評価結果

評価で測定したFMS基本操作応答時間を図5に示す。クラウド化に際して新規に導入したVPNおよびFMS新機能の導入により、応答時間の遅延は増大する(同図の「VPN+FMS新機能」)。これらはWANにインターネットを利用するうえで必須な技術ではあるが、応答時間の遅延増に大きな影響を与える。今回、日立の特長でもあるWAN高速化技術を適用することにより(同図の「VPN+FMS新機能+WAN高速化」)、FMS基本操作の応答時間は平均値で約 $\frac{1}{3}$ に、最大値では約 $\frac{1}{8}$ に短縮された。その結果は、上述したディスプレイパッチャのシステム操作感の許容限界値を下回り、WAN高速化技術の有用性を確認した。

5. おわりに

今回実施したPoCで、FMSクラウド化の実現について技術的な見通しを得た。サービス事業化に向けて解決すべき課題がいくつか明らかになったが、その対策の方向性についても明確化できた。今後、サービス事業化に向けて積極的な顧客提案を行っていく。

鉱山会社においては、近年、情報技術の活用によるさらなる経営効率化の気運が高まっている。日立グループは、マイニングビジネスにおいてもOT(Operation Technology: 制御技術)とIT(Information Technology: 情報技術)の融合を図り、スマート情報事業を提案していく予定である。また、FMSサーバには鉱山の運行管理データが蓄積されているため、これらのデータを分析することで、鉱山会社が抱える潜在課題の見える化や、さらなる業務改善の提案が可能になると考えている。引き続き顧客視点で付加価値の高いサービス提案を進めていく。

謝辞

本稿で述べた概念実証においては、Teck Resources Limitedにご協力いただいた。関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献など

- 1) Powers of 10: Time Scales in User Experience, Jakob Nielsen, October 2009, <http://www.nngroup.com/articles/powers-of-10-time-scales-in-ux/>

執筆者紹介



袖山 健

日立製作所 情報・通信システム社 サービス事業本部 スマート情報システム統括本部 スマートビジネス本部 O&Mクラウドサービス事業推進センタ 所属
現在、鉱山向けITサービスの事業化検討に従事



高田 芽衣

日立製作所 中央研究所 情報システム研究センタ ネットワークシステム研究部 所属(2014年9月時点)
鉱山およびクラウドサービス向けネットワークの研究開発に従事
IEEE会員



羽根 慎吾

日立製作所 横浜研究所 情報サービス研究センタ サービスイノベーション研究部 所属(2014年9月時点)
鉱山向けシステムの研究開発に従事
博士(理学)
日本物理学会会員



古野 義紀

日立建機株式会社 開発本部 所属
現在、ウェンコ・インターナショナル・マイニング・システムズ社副社長として、同社の経営に従事



渡邊 洋

日立建機株式会社 研究本部 技術開発センタ 所属
現在、建設機械、鉱山機械の電子制御化、情報化の研究開発に従事
日本機械学会会員、計測自動制御学会会員、日本フルードパワーシステム学会会員