トンネル施工現場における
モバイルセントレックス技術の適用

宮原宏史[1]

[1]マック㈱　本社　代表取締役　（〒272-0832 千葉県市川市曽谷8-16-3）
E-mail: mmic@maple.ocn.ne.jp

近年，トンネル施工現場において坑内PHSの導入事例が一般化しているが，音声通話のみの利用である場合が多い．一方，一般向け携帯電話の進化は著しく，ITシステムとの親和性も高い．筆者は，技術者一人あたりの技術，移動範囲が広大であるトンネル施工現場こそ，その進化の恩恵を享受すべきと考え，トンネル向けモバイルセントレックス技術を開発，適用した．その結果，新たな調書作成方法や，情報共有方法を実現し，その効果を確認した．

Key Words : *mobile，IT，入坑管理，通信，安全*

１．はじめに

セントレックス（centrex）とは，中央を意味するセントラル（central）と，電話交換機を意味するエクスチェンジ（exchange）を組み合わせた造語であり，電話交換機の集約を意味する．近年，企業が社員に貸与した携帯電話を，オフィス内では内線電話としても利用可能な電話交換機にシステムを集約することにより，社外社内を問わず同一番号での直接連絡が可能であり，さらに携帯電話の持つITシステムとの高い親和性により，各種業務アプリケーションとの連携が期待できるモバイルセントレックス（mobile centrex）と呼ばれる技術が注目されている．この技術はオフィス内に特定の個人用の机を設けず，自由な場所で業務可能なフリーアドレスオフィス（Free address office）化のためのツールとしても活用されている．

トンネル施工現場の業務は，その作業フィールド（仮設ヤード，切羽，覆工，地表面等），業種（探査，測量，施工，計測，検査等）ともに広く，調書を整理する内業も多く求められる．よって，必要な情報は何処からでもアクセス可能であり，得られた結果を迅速に共有可能なフリーアドレス“サイト”（site：現場）化による効果は，オフィスと比較して顕著であることが容易に予想される．

筆者は，IT技術の進歩は，まさにトンネル施工現場においてこそ，その真価を発揮すべきものであるとの考えの下，トンネル向けモバイルセントレックス技術を開発，適用した．本稿はその適用事例と確認された効果について述べるものである．

２．既存技術

(1) トンネル工事

トンネル施工現場内における通信手段は，有線式のインターホンシステムが最も一般的である．また，長大トンネルの場合，無線式のPHS（personal handy-phone system）を組み合わせた坑内PHSの適用事例が多く見られる．さらにトンネルの情報化施工ツールとして，坑内監視カメラシステム，ICタグによる入坑者，車両検出システム等の事例が見られる．[1)]

(2) 明かり工事

いわゆる明かり工事は，携帯電話事業者のサービスエリア内であることが多いことから，携帯電話を通信手段に利用することが一般的である．また，情報化手段は上記トンネル工事向けシステムに見られる監視カメラ，ICタグ等に加えて，GPSによる施工管理システム[2)]，携帯電話網を利用したコンクリート管理システム，写真送信システム等がある[3)]．トンネル工事では不可能であった携帯電話網やGPSの電波が受信可

能であることにより，様々な適用事例が見られるが，現場が都市部で無い場合等，通信電波の安定性に懸念がある場合には問題が生じる場合がある[3)].

(3) 一般オフィス

本稿では頁数の都合上，モバイルセントレックス技術に絞って紹介する．一台の携帯電話が，社外では携帯電話事業者のサービス網を利用した携帯電話として機能し，オフィス内に専用の交換機とアンテナを用意することにより，無線式内線電話としても利用可能となる．携帯電話には専用のダイヤルイン番号が付与されており，最初に応答した人間が保留転送を行う必要がなく，外線から直接端末を呼び出すことができる．交換機は，オフィス内に対象端末が存在しない場合は，自動的に携帯電話事業者のサービス網に転送を行うため，社外社内を問わず，同一番号での直接連絡が可能である．従来の事業所用ビジネスホンと比較し，その利便性は高い[4)].

しかし，もうひとつの大きな特徴であるITシステムとの連携機能についての適用事例は少ない．オフィス内においては机上のパソコンから業務アプリケーション等を利用したほうが利便性が高く，携帯電話を使用する動機が希薄である．携帯電話からのアクセスが必要となるのは外出先からが殆どであり，既存のwebシステム等でその要求は満足される．したがって，一般オフィスにおけるモバイルセントレックス技術は，音声通話の利用が主であり，トンネル工事における坑内PHSと同様の使用状況であった．

３．トンネル用モバイルセントレックスシステム

(1) 開発経緯

施工中のトンネル坑内は携帯電話事業者のサービス範囲外であり，他業種と比較して携帯電話等を利用した技術の導入は遅れていた．しかし専用の交換機とアンテナを用意し，無線式内線電話としても利用可能となる携帯電話システムの利用により，その差を解消することができる．

トンネル施工現場における業務は，仮設ヤード，切羽，インバート，覆工，地表面等の作業フィールドにおいて，探査，測量，施工，計測，検査等，様々な作業が行われている．工事事務所においてはこれら膨大な情報に迅速にアクセスでき，即時の判断を下せる体制が求められる．工事請負者はこれら情報をリアルタイムに更新し，その結果を次サイクルにすばやく反映させることが求められる．しかし従来の情報化施工ツールを導入しても，請負者の職員や，作業を行う専門施工会社の職員は，上記広大な作業フィールド上で上記業務を行っており，情報にアクセスできるのは，作業が終了し事務所に帰所した後であった．監視カメラシステムの映像を例にすると，事務所のテレビ画面にはリアルタイム切羽映像が存在するが，仮設ヤードで作業中の職員がその映像を見ることは不可能である．よって職員は切羽作業の進捗判断を，トラックミキサー車，火薬車，ダンプ車等の出入り等により，情報化施工ツール導入前と同様に判断していた．

筆者は，必要な情報は何処からでもアクセス可能であり，得られた結果を迅速に共有可能なシステム導入による効果は，他業種と比較して顕著であると予想し，トンネル向けモバイルセントレックス技術を開発した．以下，本システムの概要と適用現場における効果を述べる．

(2) システム構成

図-1に代表的な機器構成を示す．a)監視カメラとb)坑内基地局が切羽後方に設置される．c)携帯電話を持った作業者や，車載した車両は，b)と音声や自己位置情報の通信を行う．通常a)，b)はd)電源台車にe)固定電話と共に装備される場合が多い．また，f)粉塵，酸素計は常時坑内の環境をモニタリングしており，管理基準値以上の数値を示した場合，作業者の持つc)に一斉メール送信を行う．トンネルの延長により，b)，e)，g)非常放送設備は，3～400m程度の間隔で有線LANにより順次坑壁に設置される（**図-2**）．郊外の仮設ヤードではh)ヤード監視カメラによる作業監視や濁水プラントに設置された，i)濁度，ph計により処理済水の管理が行われている．さらに，坑内または坑外に設置されたj)計測工の機器は自動計測を行い，これらデータも管理基準値以上の数値を示した場合，作業者の持つc)に一斉メール送信を行う．また，現場データのすべてはヤード内に置かれた管理室内のk)サーバにて閲覧，記録が可能であり，l)交換機によって外部の公衆

回線と結ばれ，インターネットを利用した工事事務所や請負会社とのデータ通信や，c)，e)からの外線電話が可能となっている．従来，別々に用意されていた音声通話ラインとデータ通信ラインを統合しており，設備が簡略化されている．

(3) システム構成

図-3に携帯電話でアクセス可能なシステムのデモ画面のURLをQRコードにて示す．また，**図-4**にシステム構成図を示す． a) ， c) ， h)により撮影された動画，静止画は，A)カメラサーバを経由し，F)処理プログラムによってG)データベースに記録される．この記録はc)を含むネットワーク上のすべての端末から閲覧が可能であり，夜勤時の作業状況確認や切羽崩落等の異常時の記録としても活用される．さらにc)からはA)への直接アクセスも可能であり，他の作業エリアの状況をリアルタイムに把握することができる．これにより，たとえばインバートを施工管理中の請負者が，a)から切羽の状況を確認（**図-5**）し，切羽観察の為に移動する等，現場内の情報把握が容易に可能である．また，a)からはB)Webサーバを介して切羽観察

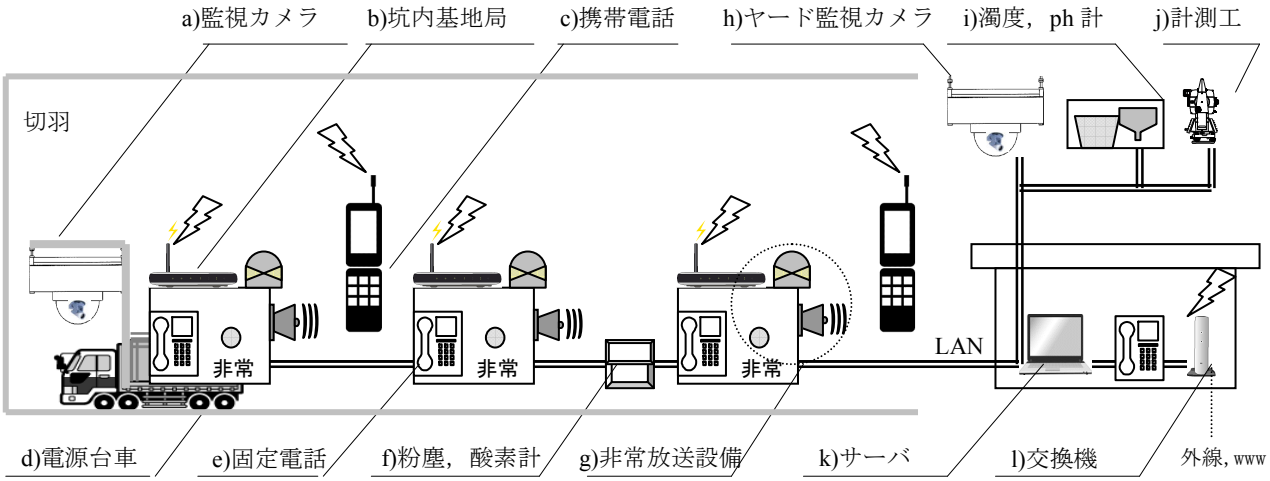

図-1 機器構成

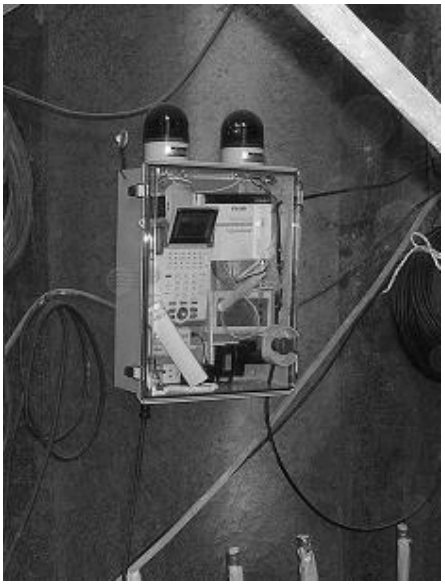

図-2 b)坑内基地局，e)固定電話，g)非常放送設備

図-3 デモ画面用 QR コード

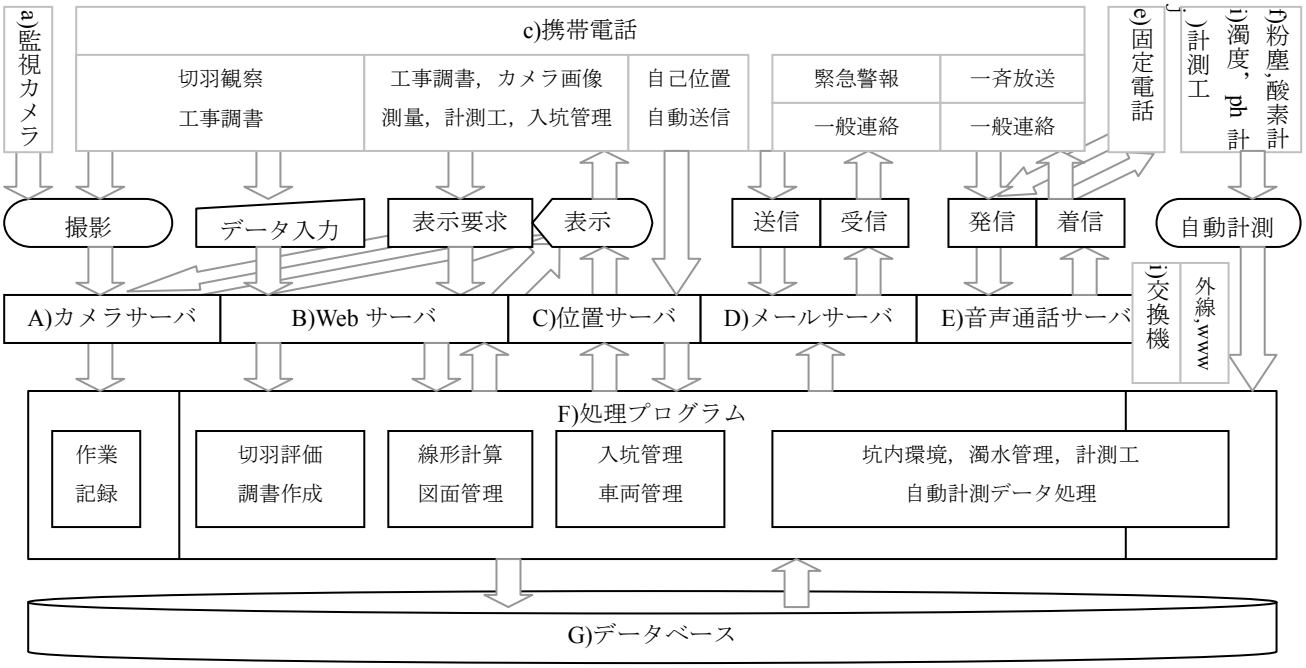

図-4　システム構成図

図-5　状況確認画面

図-6 切羽評価点画面

記録の評価区分入力が可能であり，入力した値はG)内の評価点計算書データベースを使用し点数化され，直近の点数履歴と共にc)に返信される（**図-6**）．観察者は前回の観察イメージに加え，評価点の変化という指標を持って，地山の変化を捉えることができる．F)では切羽観察プログラム（**図-7**）にc)からの評価区分が自動的に入力され，データシートが自動的に作成される（**図-8**）．また，坑内で行った測量結果を，路線線形や断面等と比較する際も，B)を介して現場の路線線形や断面形状プログラムにアクセスし，即時に結果を得る事ができる．

また，c)からb)には定期的に通信が行われており，C)位置サーバはc)の現在位置をリアルタイムで表示することができる（**図-9**）．F)はその情報を処理し，入坑管理ボードを自動制御し，c)を含むネットワーク上のすべての端末から入坑管理状況を確認（**図-10**）でき，例えば発破時の退避確認を，目視に加えて携帯電話画面でも確認できる．さらにc)を車両や重機に車載することにより，緊急連絡がより容易になるだけではなく，車両，重機の運行状況の管理が可能となる．さらにGPS搭載型携帯電話であれば，工事用道路等，

坑外の運行管理システムとの統合も可能となる．

f)，i)，j)等により自動計測されたデータは，F)によりG)に記録されると共に，現場管理基準値の要注意，警戒態勢の基準となる管理基準値との比較が常時行われており，たとえば坑内粉塵量の増加（**図-11**）や酸素濃度の減少，A計測変位速度の増加，濁水プラントの処理済水の増加等（**図-12**）の情報を，D)メールサーバより一斉送信し，さらにg)による非常放送を行う．

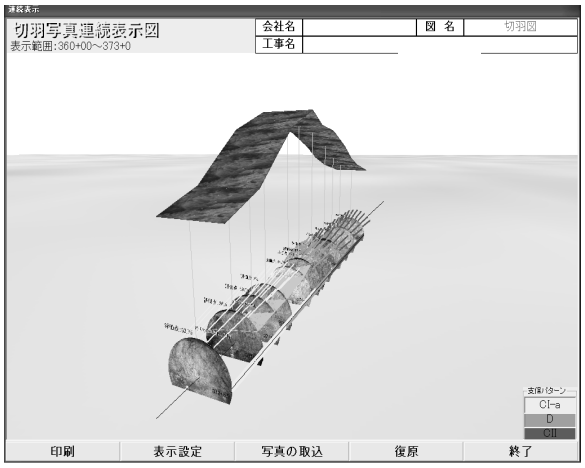

図-7　切羽観察プログラム

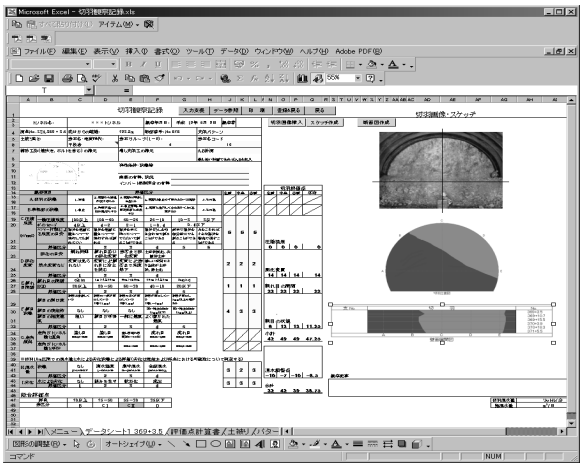

図-8　データシート

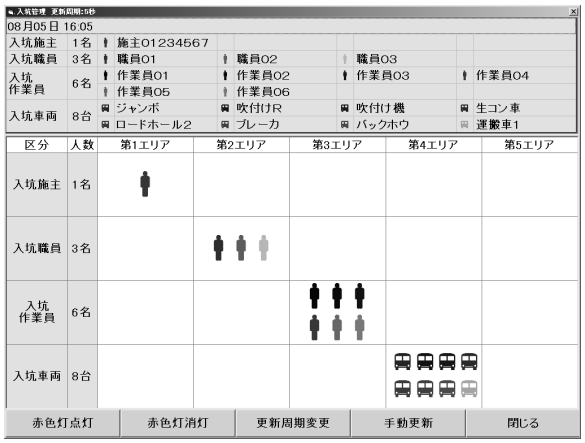

図-9　入坑管理画面

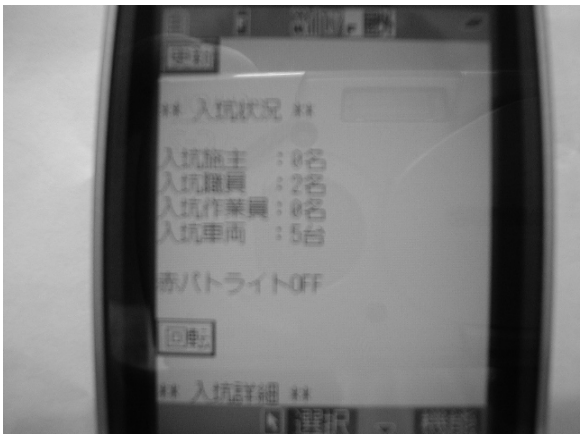

図-10　携帯電話からの入坑管理画面

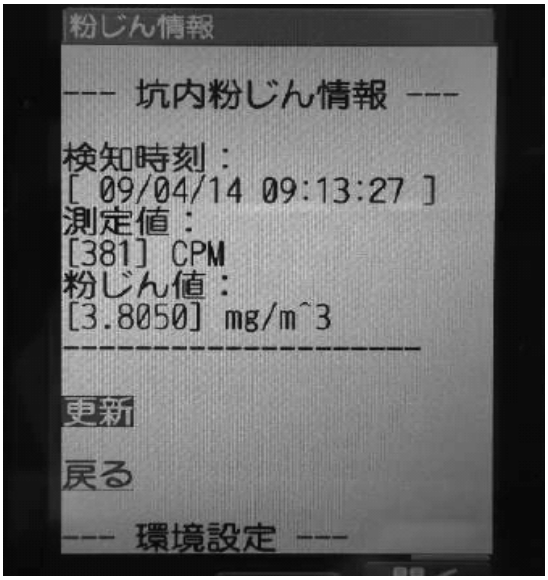

図-11　粉塵量表示画面

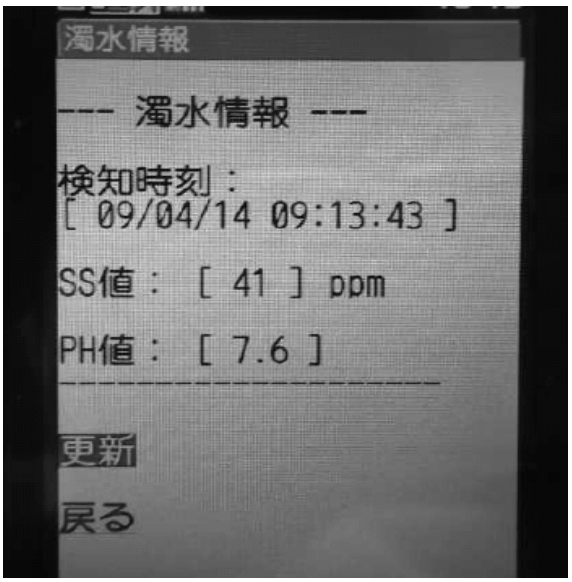

図-12　濁度表示画面

４．適用事例と効果

(1) データ管理事例

トンネル施工現場全体をひとつのネットワークエリアとし，作業エリアのどこにおいてもデータの入出力を可能とし，施工品質の向上と省力化を図ることを主目的として，本システムを掘削断面積約70 m^2，延長900mの道路トンネル現場に導入した．また坑口付近が携帯電話事業者のサービスエリア外であった事から，坑内と坑口に基地局を設置し，緊急連絡体制を強化した．本事例では小型ペンタブレット端末（**図-13**）を使用し，スケッチ図の作成やデジタルカメラ画像への注釈や補助線の書き込みを作業エリア全体で可能とした．また，粉塵自動計測，電力量自動計測を行い，データは事務所に置かれたサーバーに蓄積した．

本システムの適用により，切羽を観察した直後や，現場作業の待ち時間等に画像処理が可能となり，過去の切羽写真，地質縦断図，横断図，壁面展開図等を参照（**図-14**）し，観察結果の判断や，注意深く観察しなければならない部位や項目を知る為に活用する事が可能となった．また，粉塵，電力データを安全衛生管理や省電力化に活用した．

(2) 安全管理事例

坑内を運行する重機，車両事故の防止を主目的として，掘削断面積約16 m^2，延長900mの水路トンネル現場に本システムを導入した．掘削断面が狭く，車両の離合や転回は横坑のみで可能である．そこで，横坑及び本坑内に無線基地局を設置し，各車両に携帯電話を車載することにより車両位置の検出を行い，坑口部の入坑管理モニター（**図-15**）に表示した．入坑者はこのモニターにより，ダンプ車が稼働していないことを確認したのち入坑するという現場ルールを策定した．

本システムの適用により，注意看板等による管理と比較して，正確な坑内状況の把握が，現場内の何処にいても可能となり，安全性が向上した．

さらに，各職員の持つ携帯電話からは坑内各所に設置された監視カメラの画像が確認できるため，不可視部分の車両運行状況を画像で確認する事も可能となっている．

図-13　小型ペンタブレット端末

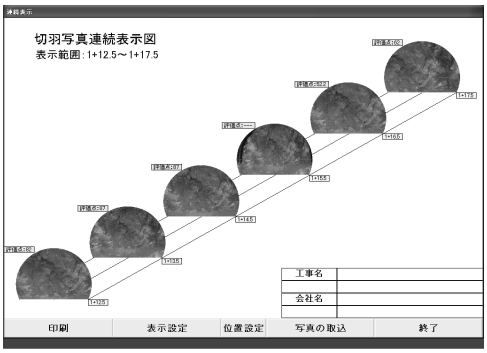

図-14　参照データ画面

図-15　入坑管理モニター画面

５．まとめ

坑内PHSに代わり，トンネル向けモバイルセントレックス技術を開発し，適用する事により確認できた事項は以下の通りである．

(1)音声通話ラインとデータ通信ラインを統合し，設備が簡略化された．

(2)作業エリア全体での情報把握が容易になり，情報の認知，判断がより早いタイミングで可能となった．

(3)携帯電話の持つ高いデータ通信機能により，構内位置情報，画像情報等が現場全体で共有され，安全性が向上した．

近年，データ通信，無線化の技術の進歩は急速に進んでいる．街中でのWi-Fiスポットや，そこでダウンロードできる電子書籍等の新技術が次々に登場し，我々の生活をより豊かにしているが，ものづくりの現場こそ，これら新技術を適用し，その恩恵を受けるべきであると考える．今後，ものづくりの現場，中でもトンネル施工現場こそが新技術の一番の適用先となる事を期待する．

謝辞：本稿の作成にあたり，京免継彦氏（佐藤工業株式会社）の協力を得た．また現場適用結果の作成にあたり，坂西将徳氏（前田建設工業株式会社）の協力を得た．ここに記して深く感謝する．

参考文献

1） 伊藤 耕一, 田口 毅, 原田 和男 : ICタグおよびPHSを使用したトンネル坑内安全管理システム, 建設の施工企画, 675号，pp. 28-33, 2006，日本建設機械化協会

2） 佐田 達典，加藤 洋次，高田 知典，桜井 浩，上田 隆 : GPSを利用した重機車両就労管理システムの開発，土木情報システムシンポジウム講演集，17巻，pp. 79-82, 1992，土木学会

3） 藤森 勉，工藤 隆志 : コンクリートのトータル打設管理システムについて，平成21年度 国土交通省 東北地方整備局管内 技術研究発表会，2009，< http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/k00360/happyoukai/H21/ronbun/4-3.pdf >（最終アクセス2010.8.10）

4） 古川 久夫，宮口 庄司 : 固定IP網・移動IP網の統合(FMC)をどのように進めるか(その4)，電子情報通信学会技術研究報告. MoMuC，モバイルマルチメディア通信107(446), pp.49-54, 2008，電子情報通信学会