

ICT による建築設備工事の合理化

酒本 晋太郎・田中 幸悦

近年、情報通信技術（ICT）は急速に進歩しており、建設業においても ICT を利用した施工システムの研究・開発が進められている。

本稿では、ICT を利用して建築設備工事の合理化・生産性の向上を図るための技術として、モータードライブ型のトータルステーションを利用した3次元計測システム、IC タグを利用した配管継手の施工管理システム、およびクローラータイプの遠隔操作型モニタリングロボットについて概要を述べる。最後に、各システムと3次元CADとのデータ連携による生産性の向上とBIMへの発展性について述べる。

キーワード：建築設備、3次元計測、IC タグ、遠隔操作、3次元CAD、BIM

1. はじめに

近年、インターネットが通信インフラとして必須の存在となり、あらゆる情報ビジネスが展開されている。またスマートフォンやタブレットPCなどの携帯端末が普及し始め、ユビキタスコンピュータ社会がいよいよ現実のものとなってきた。

建設業における ICT 導入のメリットは、

- ①いつでもどこでも、携帯端末と無線通信によって情報にアクセスすることができる
- ②膨大な検査データの管理が容易になる
- ③ヒューマンエラーを防止できる
- ④RT（Robot Technology）との融合により、人工を削減するとともに、作業範囲を拡大することができる
- ⑤CADデータを施工で有効に利用することができるなどが挙げられる。特に⑤については、建設業における新しいワークフローであるBIM（Building Information Modeling）の普及を図る上で、施工担当者にとってのインセンティブとして有効であると考えられる。

本稿では、ICT を利用して建築設備工事の合理化・生産性向上を図るための技術として、モータードライブ型のトータルステーションを利用した3次元計測システム、IC タグを利用した配管継手の施工管理システム、およびクローラータイプの遠隔操作型モニタリングロボットについて概要を述べる。そして、各システムと3次元CADとのデータ連携による生産性の向上とBIMへの発展性について述べる。

2. 3次元計測システム

(1) システム構成

建築設備工事における従来の計測・墨出しは、スケールによる手計測で行われているが、計測精度に限界があるため最終的には現場合合わせが必要となり、また計測ミスにより手戻りが発生するなど、コスト増の原因となる。さらに高所や狭所での測定では、仮設足場が必要となる場合や、計測ポイントにアプローチできず計測ができない場合もある。本システムの目的は、現場の計測・墨出し作業を一人で簡単かつ正確に行うことである。

システムの構成を図-1に示す。高性能な測量機であるモータードライブ型トータルステーション（ライカジオシステムズ製 TCRP1205+）を計測の基盤とし、これにRS232C-無線LANコンバータを接続し、スマートフォンのWiFi機能によって遠隔操作することができる。ターゲットは、水準を調節可能な置き型のプリズムであり、トータルステーションを現場に設置してその自己位置を認識させる作業（初期設定）の際に、現場に設定した座標軸上に置いてその位置を計測



図-1 システム構成

する。原点と軸上の1点をトータルステーションで計測することによって、X、Y平面上での位置座標が求まり、かつ基準高さを計測することでZ座標が求まる。また、計測ユニット・墨出しユニットは独自に開発した計測・墨出し用のツールであり、以下に詳細を述べる。

(2) 計測機能

計測機能には、トータルステーションの望遠鏡により視準した点の座標を直接計測する機能と、計測ユニットを利用して間接的に計測する機能がある。直接計測機能は、トータルステーション本来の計測機能を利用しているためここでは省略し、計測ユニットを用いた間接計測機能について述べる。

図-2に示すように、計測ユニットはトータルステーションから直接視準できない陰に隠れた点を計測するツールである。計測ユニットの受光部をトータルステーションで計測し、それによって間接的に計測ユニット先端で指示した位置の座標を求める。建築設備工事においては機械室やパイプシャフトなどの狭隘部で計測することが多く、計測ユニットを用いた間接計測機能が有効である。計測ユニットによる計測方法は以下の通りである。

- ①レーザー受光点 P_0 には、その入射角 α 、方位角 β を計測するセンサーがある。このセンサーは、 P_0 に設けられたピンホールによりレーザーを導入し、複層レンズを透過してCMOSデバイスに投影されたスポットの位置を画像処理で求めることにより、 α と β を計測する。
- ②360度の計測が可能な傾斜角センサーを搭載し、計測ユニットの傾き Ψ を計測する。
- ③グリップにあるボタン操作でトータルステーションに計測指令を無線送信する。オペレータは、計測ユニットにより計測点 P を指示しレーザー測量機でポインターの受光点 P_0 の位置を計測する。同時にレーザーの入射角 α 、方位角 β とポインターの姿勢角度 Ψ から、幾何演

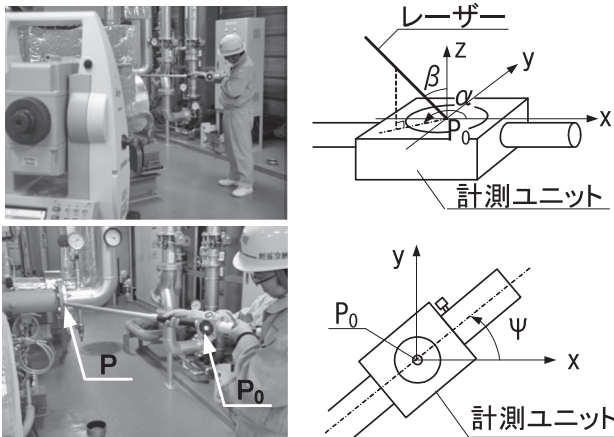


図-2 計測ユニットによる計測原理

算により計測点 P の3次元座標を求めることができる。計測ユニットを用いた場合の計測精度は、トータルステーションからの距離が10 m以内において±5 mm以下である。

(3) 墨出し機能

本システムで使用しているトータルステーションは、モータ駆動によりレーザーの照射角度を自動制御することができるため、システムに入力した任意の座標に対し、その方向にレーザーを自動で照射することができる。これを利用して、墨出し位置をレーザーで指し示すことにより、現場での煩雑な計測作業を必要とせず、一人で簡単に墨出しを行うことができる。

レーザーにより指示された点については、以下の二つの問題がある。

- ①墨出しする対象物(床、天井、壁など)の仕上がり寸法が設計図と異なる場合、目標位置と異なる位置にレーザーが照射される。
- ②対象物への入射角が大きいほど、レーザースポットが楕円形となりその長軸が長くなるため、墨出し位置を目視で判断することが困難となる。

①に対し、レーザー照射時にトータルステーションのノンプリズム計測により照射点の座標を求めて照射位置を補正する。図-3に示すように、床面への墨出しデータのZ座標と実際の床レベルが異なる場合、 ΔD_1 だけ前方あるいは後方にレーザーがずれる。そこで、レーザー照射時にノンプリズム計測により照射点 P_0 の座標を求め、これにより仰角の補正量 $\Delta\theta$ を算出し補正する。目標位置に対する誤差が許容値以下になるまでこれを繰り返す。

②に対しては、墨出しユニットを用いて墨出し位置を特定する。トータルステーションによるレーザー照射位置に墨出しユニットを設置する。図-4に示すように、墨出しユニットはプリズムを搭載しており、トータルステーションからの水平距離 D_0 を求め、目標点 P_d までの水平距離 D_d に対する差 ΔD_2 を求める。そしてユニット上のスケールでスライダを ΔD_2 に合わせ位置を特定する。墨出しユニットは、水平かつレーザーの軸方向と一

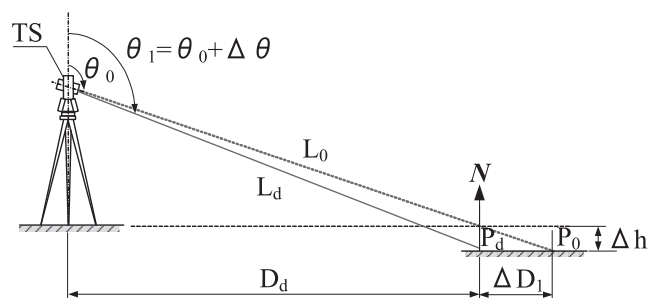


図-3 指示位置の調整機能

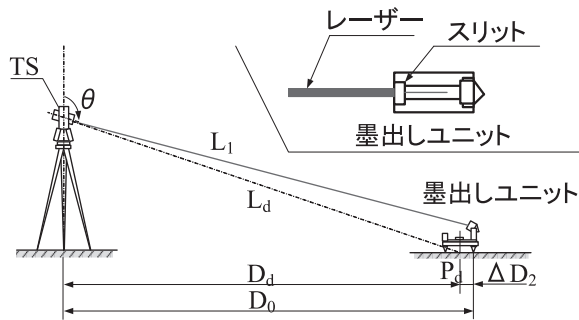


図-4 墨出しユニットの原理

致するように設置される必要があるため、手動式の整準機能およびスリットを利用した方向調整機能を有する。

(4) 現場適用例

①改修工事のための計測

大規模な空調用エネルギープラントにて、改修工事のための現場調査に本システムを使用した。

新規に敷設する配管設備の既存設備との接続位置や、既存の鉄骨架台などの位置、および既存躯体（天井、壁など）の位置情報を本システムにより計測した。写真-1、2に計測の様子を示す。2日間で合計141点の計測を行った。プラントの規模が大きく、測定個所が広範囲にわたったため、トータルステーションを合計8回移動した。この計測データを用いて、既存設備の図面をもとにあらかじめ作成した設備の施工図を修正した。これにより施工図の精度が高まり、配管工事の



写真-1 計測の様子（プリズムを用いた計測）



写真-2 計測の様子（計測ユニットを使用）

プレファブ化促進と現場加工の大幅削減を実現した。

②インサートの墨出し

大規模な複合ビルの新築工事において、デッキプレートへのインサートの墨出し作業に本システムを適用した。

写真-3に墨出しの様子を示す。実績として最大で1日に1,000箇所以上、従来方法に比べて3～4倍程度の処理能力があることを確認した。また、従来のように現場で図面を見ながら計測をして墨出し位置を特定する必要がないため、作業性が良くまたヒューマンエラーによる手戻りが発生しにくいというメリットも確認された。



写真-3 墨出しの様子

3. IC タグを利用した配管継手の施工管理システム

(1) システムの目的

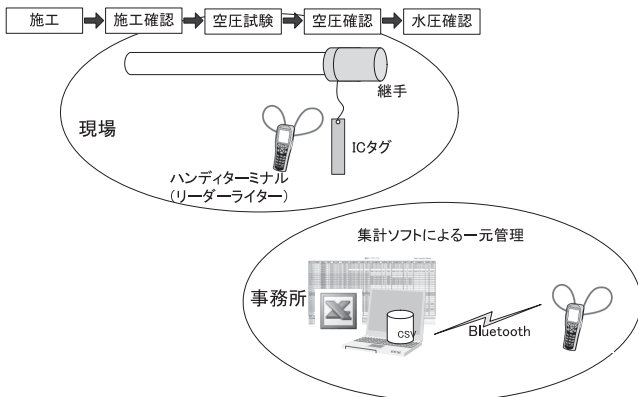
金属強化ポリエチレン管は、その施工性の良さから広く普及しているが、継手の施工（専用工具による“かしめ”）を忘れてしまうと、空圧・水圧試験では発見されず竣工後に漏水するという事例が確認されている。そのため、継手全数の目視確認とともに専用シールによるチェック作業など、徹底した施工管理が行われているが、ヒューマンエラーを完全に防止できてはいない。そこで、配管継手の施工不良による漏水事故を防止するため、金属強化ポリエチレン管用継手の施工管理にICタグを利用するシステムを開発した。

(2) システム概要

①かしめ状況管理システム

初めに、ICタグによるかしめ状況管理システムを開発した。図-5に示すように、本システムはICタグ、ハンディターミナルおよびパソコンで構成される。ICタグは、数メートルの距離でも読み書きが可能なUHF帯のタグを採用した。かしめ作業が終了した時点で、施工日時、施工者、施工場所などの情報をICタグに書き込む。さらに施工確認、空圧試験、水圧試験などの各チェックイベントにおいて、目視確認後にICタグに合否を書

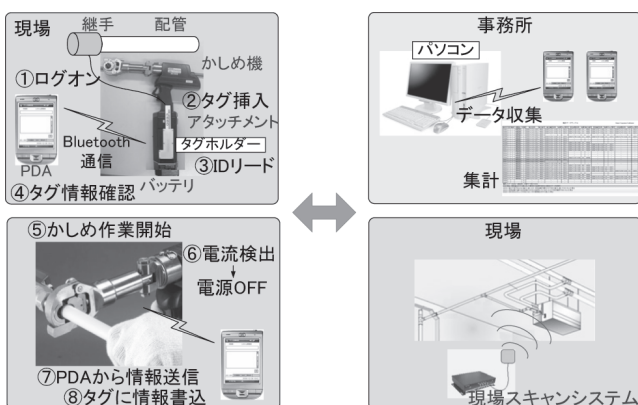
き込む。その際、IC タグには確認日時や確認者も記録される。確認作業後、ハンディターミナルに蓄積されたデータを、Bluetooth 無線によって事務所のパソコンへ転送する。本システムは、離れた場所から複数のタグを同時に読み込むことができるため、確認漏れを防止することができ、さらに読み込んだデータをもとに施工履歴や確認履歴をパソコンで一元管理することができる。



図一5 かしめ状況管理システム

②かしめ機連動システム

上記のシステムは、かしめ作業と連動していないため、施工結果を確実にタグに記録するという点で、信頼性が不十分である。そこで、市販のかしめ機に専用のアタッチメントを装着し、IC タグへの書き込みをかしめ機に連動させたシステムを開発した。本システムは、図一6に示すようにかしめ機とそれに装着されるアタッチメント、PDA および現場スキャンシステムで構成される。アタッチメントはかしめ機本体とバッテリーの間に装着され、かしめ機の電源制御やIC タグへの読み書き、およびPDA との無線通信機能を有する。PDA には継手の施工履歴データが記録されており、施工済みのタグに対してはかしめ機が起動しないようになっている。また、高出力（1W）のタグリーダー機能を持つ現場スキャンシステムにより、「未了」と記録



図一6 かしめ機連動システム概要

されたタグを検出しかしめ忘れを防止する。本システムにより、施工管理の信頼性が向上し、施工忘れによる水漏れなどのリスクを回避することができる。

4. モニタリングロボットシステム

(1) システムの概要

天井内でのモニタリングを行うため、走行性に優れた住宅用床下点検ロボットに用いられているクローラー*¹モジュールをベースに、遠隔監視を行う走行ロボットシステムを開発した。写真一4にシステム構成を示す。ロボットは無線LANにより遠隔操作され、走行と搭載カメラのパン・チルト・ズームが可能である。オペレータはパソコンに表示されるカメラ画像を見ながら、ジョイパッドにより操作する。ロボットは環境測定用に温湿度センサーを装備している。本体の防水・防塵仕様はIP54*²相当である。移動速度は3段階で設定可能であり、最高速度は0.33 m/sである。ナビゲーションカメラは、天井内に設置され、ロボットの姿勢や周囲状況を確認するために用いる。



写真一4 システム構成

- *1 クローラー：無限軌道。履帯、キャタピラーなど、複数の呼び方がある。
- *2 IP54：国際電気標準会議で規定されている、キャビネットの固形物および水の侵入に対する保護構造の規格。第一特性数字5＝粉塵が内部に侵入することを防止する。若干の粉塵の侵入があっても正常な運転を阻害しない。第二特性数字4＝いかなる方向からの飛沫によっても有害な影響を受けない。

(2) システムの特徴

①転倒防止機能

ロボットには3軸加速度センサーが搭載されており、約40 msec周期でロボットの前後方向への傾斜角度を計測することができる。ロボットはクローラーの推進性能が高く、直進時で約60 mmの段差を乗り越えることができる一方で、段差が高い場合は後方に転倒してしまう恐れがある。そのため、走行速度ごとにロボットの傾斜限界角度を設定し、その角度になった

ら一段下の速度へ自動で切り替え、最後には低速から自動停止させることで転倒を回避する機能を有する。

②乗上回避機能

天井下地材 (LGS) などの障害物を乗り越える際に、バランスを崩してロボットのシャーシ下面が障害物の上に乗り上げると、クローラーが空転し走行不能となる。そこで、シャーシ下面にタイミングベルトを配置し、片側のクローラーと同期して回転させることにより、障害物に乗り上げた際にクローラーの駆動力が回復する位置まで移動することができる。

③ナビゲーション機能

図面や写真など、天井内の情報がない場合、ロボットに搭載されたカメラの映像だけでは、ロボットの現在位置を認識することは困難である。ロボットはオドメトリ情報 (走行距離など) からおおよその位置を推測できるが、障害物を乗り越えるたびに誤差が累積して実用に供しない。現在位置が不明だとスタート位置に帰還することが難しく、またロボット周囲の状況やロボットの姿勢が分からないと操作が非常に難しい。そこで、ナビゲーションカメラとして web カメラを天井内に設置する。このカメラは、パンとチルトの角度を検出することができ、それらの値とカメラの高さから、カメラ画像の中心でとらえた物体のおおよその位置が求められる。これにより、ナビゲーションカメラとロボットの相対位置がわかる。本システムにおける位置検出精度は、± 500 mm 程度である。また、本 web カメラは動き検出機能を有しており、天井内で唯一動き回るロボットを自動追尾することができるため、オペレータの負担を軽減することができる。自動追尾ができなくなった場合は、ジョイパッドにより手動でロボットを捕捉する。

5. 3次元 CAD とのデータ連携と BIM への展開

近年、建設工事の新しいワークフローとして BIM が注目されている。3次元 CAD を利用して作成したモデルにあらゆる属性データを付与した建築物のデータベースを、建築のライフサイクルにわたって活用するというものである。本稿で紹介した各システムは、扱うデータを 3次元 CAD と連携させることが可能であり、BIM に対する適合性が高く BIM の価値を高める有効なシステムとなりうる。上述の 3次元計測システムは、当社で開発した 3次元 CAD 「S-CAD」 とのデータ連携機能を持ち、図-7 に示すようにシステムで計測したデータをオブジェクトとして S-CAD に配置することにより、計測データに基づく図面の作成・修正が可能となる。また、S-CAD で設計したデータから各

部材の位置データを抽出し、トータルステーションにより簡単かつ正確に墨出しを行うことができる。また、IC タグを利用した施工管理システムにおいては、3次元 CAD の部材オブジェクトに自動的に割り振られる ID 番号と IC タグとを関連付けることによって、3次元 CAD が部材管理および施工管理のデータベースとしての役割を果たし、データの一元管理が可能となる。さらに、各オブジェクトの属性情報としてモニタリングロボットなどから得られる設備の写真データを貼り付けることによって、施工管理だけでなく、施工後のファシリティマネジメントにも利用することができる。

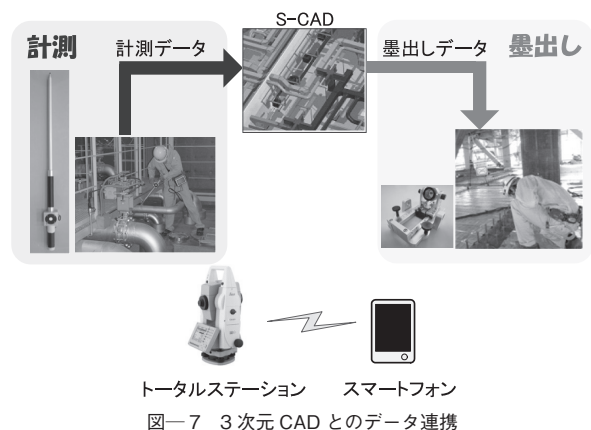


図-7 3次元 CAD とのデータ連携

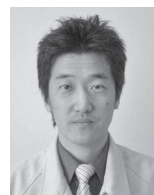
6. まとめ

本稿では、ICT を利用した建築設備工事の合理化技術を紹介し、さらに 3次元 CAD とのデータ連携による BIM への展開について述べた。近年のインターネットやモバイル端末の進歩と普及により、建設現場においても ICT を導入する環境が整ってきている。ICT を活用して業務革新を進めることが、建設工事の生産性向上と労働環境の改善につながる有効な手段であると考えられる。

JICMA

【筆者紹介】

酒本 晋太郎 (さかもと しんたろう)
新菱冷熱工業(株)
中央研究所
イノベーションシステムグループ
主査



田中 幸悦 (たなか こうえつ)
新菱冷熱工業(株)
中央研究所
イノベーションシステムグループ
主査

