

建物調査等における T L S 等を活用した 迅速化・効率化について

椿 朋也

紀勢国道事務所 用地課 (〒551-0005 三重県松阪市鎌田町 144-6)

これまでの用地調査(建物・工作物・立竹木)は、現地で直接計測し図面等の作成を行っていた。今般、中部地整備用地インフラ DXにおける初の取り組みとして、地上型レーザスキャナ(TLS)等を活用し、建物及び建物周辺の工作物、庭木等の物件の現況調査、建物外部及び内部の計測を実施。試行による調査結果に基づく、外業・内業の迅速化・効率化を図るべく検証を行っているところであり、その現在の状況を報告する。

キーワード インフラ DX, 建物調査, TLS・LiDAR, 迅速化・効率化

1. 事業概要

今回、試行調査を実施した国道 42 号紀宝熊野道路は、熊野市久生屋町～紀宝町神内に至る延長 15.6Km の一般国道の自動車専用道路であり、近畿自動車道紀勢線の一部となつて、高規格道路のミッシングリンク解消および直轄国道とのダブルネットワーク化による道路ネットワーク機能強化を目的に計画された道路である。(図-1) 現在、熊野市及び御浜町の用地調査及び用地取得を鋭意施行中である。

2. 用地調査等業務とは

用地調査等業務とは、業務委託により事業に必要な土地と土地に存する建物、工作物、庭木等の物件を詳細に調査し、補償額の算定を行う業務であり、適正かつ迅速な補償額の算定が求められる。



図-1 紀宝熊野道路の位置図

3. 目的

中部地方整備局では、2022 年 4 月に「中部インフラ DX 行動計画」を策定し、2023 年 3 月に「中部インフラ DX 行動計画 2023 の策定」をとりまとめ、建設業の労働生産性向上を図っているところである。インフラ DX 行動計画の内、用地事務に関しては、「リモート境界確認の実施」「オンライン用地交渉」「用地調査における T L S 等を活用した迅速化・効率化」の三点を挙げ、取り組んでいる。(図-2)

今回の取り組みは、当事務所が行う用地調査等業務において、T L S (地上型レーザスキャナ) 等を活用した用地調査(以下「新手法」という)を実施することにより、従来のコンベックス等により直接計測する調査(以下「従来手法」という)よりも業務の迅速化・効率化を図るために必要な内容を把握す


(2) ②-15 用地調査における TLS 等を活用した迅速化・効率化					DX 行動計画																								
TLS (地上型 3D レーザスキャナー) 等の活用による迅速化・効率化																													
目標	用地調査 (建物調査、工作物、立竹木) における迅速化・効率化 ➢ これまでは現地で直接計測し図面等の作成を行っていたが、地上型 3D レーザスキャナー等を活用することで、迅速化、効率化を可能とする。																												
取組概要	【現状】 現在は、建物、工作物、庭木等の調査は現地で実測調査を行い、建物の配置図、平面図、立面図等の作成をしている。 調査期間 (時間) については、一般住宅は概ね 1 日、複数棟とする建物、工場等は数日間を要している。 また、用材林調査に関しては、実測調査を実施し調査精度を計測しており、現地作業に多くの調査期間 (時間) を要している。		【将来 (イメージ)】 建物及び建物周辺の工作物、庭木等の物件の現況調査、建物外部及び内部の計測を地上型 3D レーザスキャナー等により実施。 また、用材林調査においては、測量精度の計測、立木位置の計測を地上型 3D レーザスキャナー等により実施。外業・内業の効率化、用地調査の短縮により用地交渉の早期着手を目的とする。																										
																													
<table><tr><th>令和 4 年度</th><th>令和 5 年度</th><th>令和 6 年度</th><th>令和 7 年度</th><th>令和 8 年度以降</th></tr><tr><td colspan="5">仕様の確定</td></tr><tr><td colspan="5">試行業務の発注</td></tr><tr><td colspan="5">検証作業</td></tr><tr><td colspan="5">本格運用</td></tr></table>					令和 4 年度	令和 5 年度	令和 6 年度	令和 7 年度	令和 8 年度以降	仕様の確定					試行業務の発注					検証作業					本格運用				
令和 4 年度	令和 5 年度	令和 6 年度	令和 7 年度	令和 8 年度以降																									
仕様の確定																													
試行業務の発注																													
検証作業																													
本格運用																													
※今後の予定は実現点の想定であり、今後の進捗状況により、変更等が生じる場合があります。																													
52																													

図-2 「中部インフラ DX 行動計画 2023 の策定」
抜粋

ることを目的とし試行的に行ったものである。中部地方整備局で初の取り組みであり、今回は比較検証を行うため、新手法に加えて、従来手法による調査も実施した。

4. 使用機器について

今回の検証に際し、以下の二つの機器を使用した。

(1) TLS (X12)

TLS(Terrestrial Laser Scanner)とは、地上型レーザスキャナのことであり(以下「地上レーザ」という)、レーザ光を照射して、その反射光の情報を点群として対象物までの距離や対象物の形などを計測することができる機器である。地上に固定した位置から点群を取得することができる。

また、通常の測量等に用いるトータルステーションと異なり、基準点から計測する必要がなく、任意の場所に据えて計測することができる。当機器は、短時間で膨大かつ精密な点群を取得することができる。(表-1)

(2) ハンディ型レーザスキャナ (ZEB-HORIZON)

ハンディ型レーザスキャナ(以下「ハンディレーザ」という)とは、LiDAR 技術及び SLAM 技術を用いて、計測対象の周り及び屋内等で小型機器を用いて歩きながら点群をリアルタイムで取得できる機器である。(表-1)

LiDAR (Light Detection and Ranging) とは、TLS と同様にレーザ光により計測する技術である。

SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)とは、センサーが認識する範囲における周辺環境の地形・地物形状の計測と自己位置の推定を同時に行う技術のことであり、地形・地物の特徴点の見え方や測定距離の変化を把握しながら、自らの移動量及び角度から移動軌跡を推定する技術である。

表-1 使用機器の性能

種類	ハンディレーザ	地上レーザ
機材名称	ZEB-HORIZON	x12
外観		
サイズ	250×120×120	150×258×328
重量	1.3kg	7.7kg
最大測定距離	0.5~100m	0.3~365m
スキャン	300,000点/秒	中モード 119,000点/秒(最大) 高×2モード 478,000点/秒(最大) 高×10(最大モード) 1,911,000点/秒(最大) ※他4つのモードが使用可能(計7つのモード)
スキャン時間	計測範囲に準じる	中モード 1分30秒程度 高×2モード 6分程度 高×10(最大モード) 40分程度 ※他4つのモードが使用可能(計7つのモード)
IMU	○	○
カメラ仕様	4K動画	1.2M(1280×960)
基準点の要否	不要※標定点必要	不要※標定点必要
座標系	任意※座標変換により公共座標	任意※座標変換により公共座標

5. 調査方法

新手法は、調査前に作業計画の策定を実施、調査当日に標定点の設置及び計測、後日内業でデータを処理していく流れとなる。以下、新手法と従来手法の調査方法を説明する。

(1) 作業計画

事前に建物所有者から建物の既存図を入手し、調査の方針を定めていく。これは、従来手法と同じ作業となるが、新手法では計測ルートを決める作業が必要となる。今回の調査対象建物は、約 90 ㎡の平家建住宅であり、建物の形状等から地上レーザは建物周囲及び内部の 37 箇所で計測が必要と計画した。

(2) 標定点の設置

任意座標から公共座標への変換作業や精度確認のため、既設基準点を標定点として標識の設置を行う。「LiDAR SLAM 技術を用いた公共測量マニュアル」(以下「マニュアル」という)を参考にすると 4 点以上の標定点が必要であることや、標定点とは別に検証点を標定点の 1/2 以上設置することとされているが、マニュアルは測量を想定して定められており、用地調査等業務で実施する建物調査では、建物調査では測定距離が短く誤差は少ない。そのため、今回の試行調査では、標定点を 3 点設置、標定点と検証点を同じ点として計測を行うこととした。なお、標定点とは、取得した点群を公共座標に変換するために必要な水平位置及び標高の基準となる点をいう。検証点とは、公共座標に変換をした点群の精度を評価するために必要な点をいう。

この作業は新手法特有のものである。

(3) 計測

従来手法は、建物各部位の寸法をコンベックス等の測定機器により計測する。また、写真台帳作成のため、デジタルカメラにて撮影を行う他、建物の仕上げ材等について建物所有者に聞き取り調査を行う。

なお、新手法の計測は以下のとおり行った。

a) 地上レーザ (X12)

屋内・屋外(敷地外含む)に機器を設置し、機器付属のタブレットにて建物各部位の寸法を計測する。

(図-3)

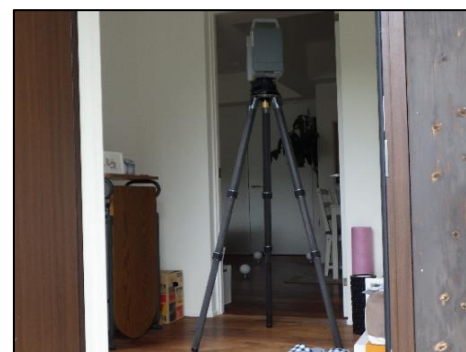


図-3 屋内での計測の様子

計測にあたっては、今回、機器の計測精度が異なる7つのスキャンモードから、屋内では「中」モードによりスキャンを実施した。（点群取得の最大スピード：約119,000点/秒、スキャン時間1分30秒程度）屋外では、建物内部より測定距離が大きくなるため、「中」モードより計測精度を高めた「高×2」モードによりスキャンを実施した。（点群取得の最大スピード：約478,000点/秒、スキャン時間：6分程度）

スキャン後は、色情報(RGB)を取得し点群に色付けを行うためレーザ軸と同じ軸にて、パノラマ写真や360度写真の撮影を2分間程度行う。

これらの計測を行った後、スキャン箇所の一つ前で計測した点群と正しく合成できているか確認し、次に機器を据え付ける場所を決めていく流れで計測を行っていく。1箇所あたりの計測等にかかる所要時間は10分程度であった。

b) ハンディレーザ (ZEB-HORIZON)

機器を計測対象物に向け、上下左右自由に動かしながらゆっくりとした速度で歩行しながら計測を行う。(図-4)この機器は、300,000点/秒のスピードで点群を取得する。また、スキャンと同時並行して、色情報(RGB)を取得し点群に色付けを行うための4K動画を撮影する。

(4) 内業

従来手法の内業は、外業の調査結果で得られた数値等を基に立面図や平面図等を作成する作業となるが、新手法の内業は、取得した点群データの解析・編集・フィルタリング等のデータ処理を行い、立面図や平面図等を作成する。

点群データの解析・編集において、スキャンした点群データの合成作業等を行い、そのデータを基にオリジナルデータを作成する。

フィルタリングでは、作成したオリジナルデータから、図面作成に必要な人や草木等の余分な点群データを除去する作業を行い、得られた3Dデータを2Dデータに変換して立面図や平面図等の作成を行う。

地上レーザで取得した点群データの解析・編集・ビューアには機器と同メーカーの専用ソフトが必要である。一方、ハンディレーザは、取得した点群データの解析には機器と同メーカーの専用ソフトが必要となる、編集・ビューアは各受注業者が測量業務で導入している汎用ソフトで作業が可能である。

6. 新手法における調査の留意点

新手法における調査を実施したところ、作業にお



図-4 ハンディレーザでの調査の様子

いて以下の点に留意が必要であることが判明した。

(1) 外業

a) 地上レーザの死角

地上レーザでは、表-1の測定距離に記載のあるとおり、最低測定距離が0.3mであるため、0.3m以内の点群を取得することができない。そのため、廊下等の狭小部では、死角となった場所を補うため、機器を移動させて再度点群を取得する必要がある。

b) 不必要な点群の取得

用地調査に不必要な点群を取得してしまうと、内業での点群の処理に時間を要してしまう。そのため、計測範囲内に不必要な点群となる人が映り込まないように注意する必要がある。また、透過するガラスや、反射する鏡に対する工夫も必要である。

c) 仕上げ材の判別

建物等の仕上げ材については、点群、写真のみで判断することはできないため、従来手法同様、目視及び聞き取りにより調査を行う必要がある。

(2) 内業

a) 点群による寸法の計測手法

図-5は、新手法により取得した点群データを任意の高さで水平に切り取った図（以下「点群データによる間取図」という）である。

建物調査は、柱芯間による数値を寸法としている。従来手法では、実測した数値を一義的に決定することが可能だが、新手法では、柱芯の計測を行うにあたっては、図-5の一部（赤枠）を拡大した図-6のように、内壁の点群と外壁の点群から得られたデータから柱芯とする点をどこに定めるのか決定する必要がある。

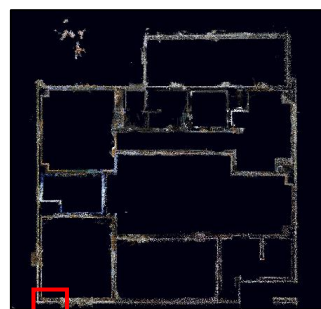


図-5 点群データによる間取図
(ハンディレーザの場合)

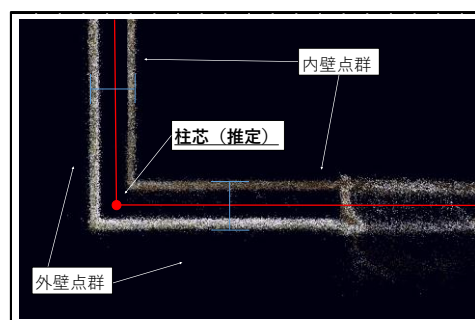


図-6 柱芯の推定イメージ

7. 検証結果

(1) 点群成果について

地上レーザ・ハンディレーザにより取得した点群データは色付け・フィルタリングされ(図-7)のように表示される。3Dデータであるため、自由自在に拡大や左右上下に表示を移動させることができ、ツールを使って任意のどの場所でも寸法を確認することが可能となる。(図-8)

(2) 従来手法と新手法による計測値の誤差

今回、従来手法による計測値と新手法による計測値の比較検証を行った。比較した箇所は、図-9に示すA～Sの19箇所である。



図-7 色付き点群 (イメージ図)

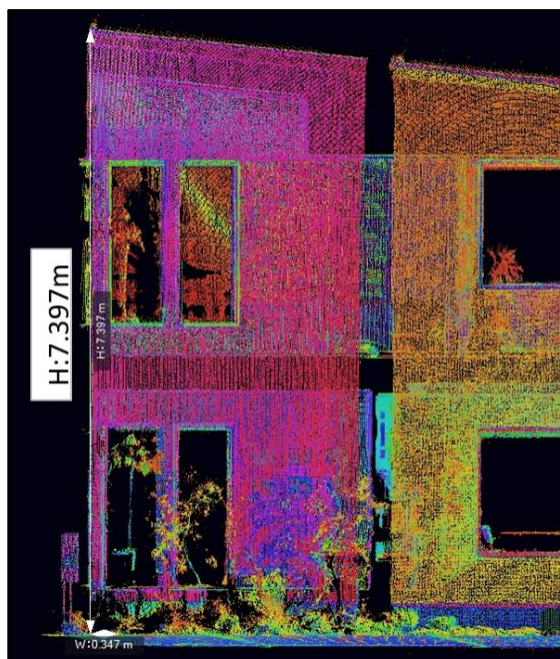


図-8 点群データから計測する様子 (イメージ図)

検証結果として、地上レーザでは、最大誤差 9mm、最小誤差 0mm (19 箇所中 4 箇所)、平均誤差約 3mm。一方、ハンディレーザでは、最大誤差 25mm、最小誤差 3mm、平均誤差約 11mm となった。

ハンディレーザは、スキャナーの挙動が一定でないことや、計測の仕方・環境により誤差が生じ、精度が低い。そのため、地上レーザに比べて1秒あたりの点群の取得数が多い場合でも、精度が低下する。

図-10 は、従来手法で作成した平面図(図-9)と点群データによる間取図(図-5)の一部を切り取り並べたものである。新手法の図で確認できる点群のばらつきが、誤差の要因となる。

図-11 は、図-10 の新手法の図を線が点に見えるまでに拡大したものであるが、点にバラつきがあることが確認できる。

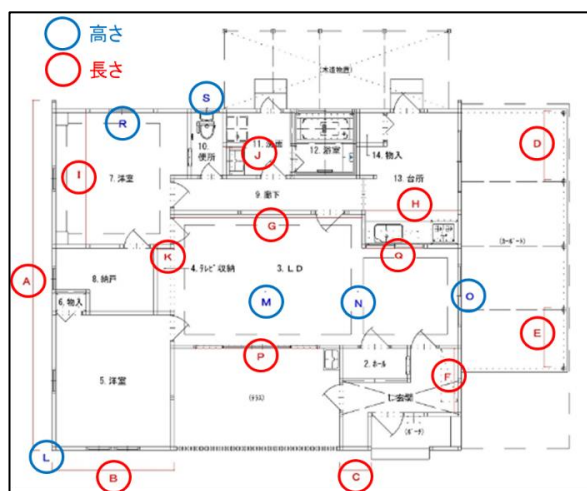


図-9 比較箇所表示平面図

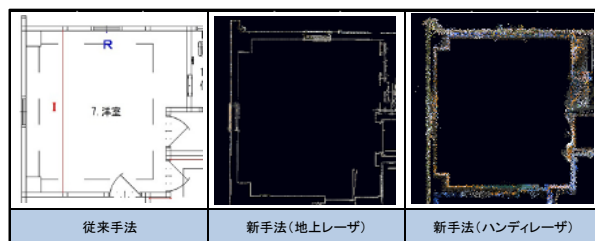


図-10 比較図

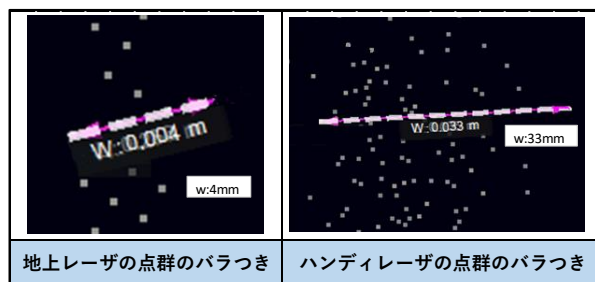


図-11 点群のバラつき比較

表-2 所要時間比較表

単位：分

職種	外業	内業		合計	従来手法を 100とした 場合の比率
	現場作業	点群解析 フィルタリ ング等	図化 (平面図、 立面図)		
技師A	265	-	60	325	-
技師B	265	-	960	1225	
技師C	265	-	-	265	
技師A	360	120	60	540	175% (外業：135%) (内業：187%)
技師B	360	720	1200	2280	
技師C	360	-	-	360	
技師A	100	120	60	280	148% (外業：37%) (内業：214%)
技師B	100	1020	1200	2320	
技師C	100	-	-	100	

(3) 従来手法と新手法の所要時間の比較

次に、所要時間について検証を行った結果、表-2のとおりであった。

地上レーザについては、従来手法に比べて、外業・内業ともに大幅に時間を要した。ハンディレーザについては、従来手法に比べて、外業は時間を短縮することができたが、地上レーザ同様、内業に時間を要した。

新手法が従来手法に比べて内業に時間を要した要因としては、5.(4)のとおり、図化作業に至るまでに、点群データの解析・編集・フィルタリング等の作業が必要となり、各作業に多くの時間を要するためである。フィルタリング作業においては、人や草木等の周囲環境のゆらぎに伴う点群データが図面作成に支障となりフィルタリング処理に時間を要する。図化作業においては、3Dデータを元に内寸、外寸、壁厚から柱芯を定めて、仮図面を作成した上で、補正を行う。これらの作業により、時間を要する。

8. 新手法を採用した場合のメリット

今回の検証により、新手法を実施した上で得られたメリットとしては、以下の点が挙げられる。

(1) 高所計測の簡素化

建物の屋根等の高所を計測する作業は、伸縮ポール等に機器を取り付けることにより可能である。計測は、5 m程度まで可能であり、概ね平家建住家や二階建住家でも切妻屋根等の角度のついた屋根であれば計測が可能である。また、自己姿勢を補正する機能(IMU機能)も備え付けられているため、水平調整も必要ない。よって、計測が困難であった高所計測が容易となる。

(2) 写真撮影の効率化

写真撮影について、地上レーザでは、パノラマ撮影や360度カメラ撮影、ハンディレーザでは4K動

画の撮影を点群スキャンと同時に行われる。よって、デジタルカメラによる写真撮影や撮影場所を決める手間を省き、かつ、全範囲をシームレスに補完することができる。内業時、再確認したい場合にも役立つと考えられる。

(3) 大規模建物における調査の効率化

工場等の大規模建物は、一般住家と比べて柱や間仕切りが少ない。よって、機器を設置する箇所が少なくなるため計測時間を大幅に短縮できるのでないかと期待できる。ただし、距離が遠くなるほど、点群の精度が低くなることについては、注意が必要である。

(4) 作業従事者の省人化

機器の操作が簡単であり、8.(1)で述べたとおり、水平調整も必要ないため、経験の浅い若手技術者でも作業が可能である。さらに、ハンディレーザについては、移動しながら計測するため、大掛かりな機器の設置が必要なく、人員削減及び作業時間短縮も可能であることから、業務効率化、省人化が期待できる。

9. 今後の課題

今回の検証により、新手法を用いるメリットや従来手法と比べて効率化につながる課題が確認できた。課題として、従来の木造建物調査積算要領及び仕様書(以下「要領等」という)に基づく計測では対応できないことや、従来よりも内業時間を要してしまうことが挙げられる。測量又は調査の基本として、「中部地方整備局用地事務取扱細則」第15条第4項において、『情報通信技術その他の先端的な技術の活用により、(中略)調査と同等の精度が確保できる場合は、当該測量又は調査を行ったものとみなすことができる。』ことが規定されているが、新手法により従来手法と同等の精度を確保するためには、調査機器、解析ソフトの精度向上、要領等の改定も必要があると考えられる。

(1) 要領等の改定

a) 使用機器

今回は試行調査であり、受注業者が所有している機器を使用した。一定の精度の成果を求めるために、使用する機器の仕様や計測方法等のガイドラインを定める必要がある。そのため、最大測定距離、視野、毎秒スキャン点数、測距ノイズ及び搭載機能など新手法に必要な具体的性能を定めるためのさらなる検証を行う必要がある。

また、機器の導入にはかなりの費用がかかり、一部の業者が業務に参加できなくなってしまっているため、用地調査の発注方法においてレンタル費用の見積手法を整備するなど、レーザ機器の使用の普及を促していく工夫も必要である。

b) 柱芯の決定方法

新手法による寸法の計測については、6.(2)a)で述べたとおり、図-6のように、柱芯を推定し計測

する必要があるが、点群データから定める手法がない。

要領等に基づき点群データから寸法を計測し平面図を作成するためには、柱芯を決定するためのルールが必要である。また、9. (2) a) のとおり、従来手法と同等の精度を確認するための精度誤差の範囲を決める必要がある。

なお、今回の検証では、柱芯の決定方法を1つの例として取り上げたが、他の計測方法についても新手法と比較検討していく必要があると考えられる。

c) データの汎用性

点群データは、LAS 形式で作成される。LAS とは、点群データの相互互換に適したコンピュータが読み取ることのできる形式のオープンフォーマットである。データを確認するためには、別途ビューが必要であるため、ビューも含めて納品する必要がある。今回の1つの建物における成果は、点群13億点以上、40GB ほどに及び（両機器によるもの）、膨大なデータとなるため、どの媒体で納品するのか定める必要がある。また、データを活用するためには、こういったソフト、ライセンスが必要で、どれ程のPC スペックが必要かを今後まとめていかなければならない。それに応じて納品できるデータ形式及び記録媒体を定める必要がある。

(2) 所要時間（内業）の短縮

表-2 のとおり、新手法では、内業に多くの時間を要することが分かった。

新手法により取得した点群データは、そのまま従来手法どおりの図面として2D データに変換させることができず時間を要する。3D データがあるにも関わらず、2D データに変換させるのは非効率である。

よって、点群データを活用した図面を利用することで内業時間の短縮が図られると考えられる。

10. まとめ

今回、建物調査において新手法による調査を試行的に行った。実際に調査をしたことにより、新手法によるメリットの他、従来手法の計測と比較して用いる機器により精度が異なることや、計測に要する時間について測定時間の差が生じることがわかった。また、既存の要領等に沿った図面等を作成する場合に、内業に多大な時間を要してしまうなどの課題をみつけることができた。

現在、本件調査業務は作業継続中であり、今後、所要時間の短縮や効率化のために必要な要領等の改善点や調査方法のルール化について具体的な検討に向けて検証を進めていきたい。

今後、要領等を改定することで、所要時間の短縮による迅速化や、更なる効率化を図ることができると考えられる。

新手法は、従来手法に比べると、作業性が良く、省人化・若手技術者の活躍が期待できることから、当取り組みは、用地業務の生産性向上につながるだろう。

用地調査の迅速化・効率化は、短期的に見ると、調査時の地権者の拘束時間の削減、長期的に見ると、業務の行程が早く進むことにより、用地交渉の早期着手につなげることができる。事業をより早く進めていくためにも、本取り組みは重要である。