

LiDAR 測量技術を活用した既築建物の脱炭素化評価統合システムに関する調査研究

芝浦工業大学 建築学部建築学科 教授 村上 公哉

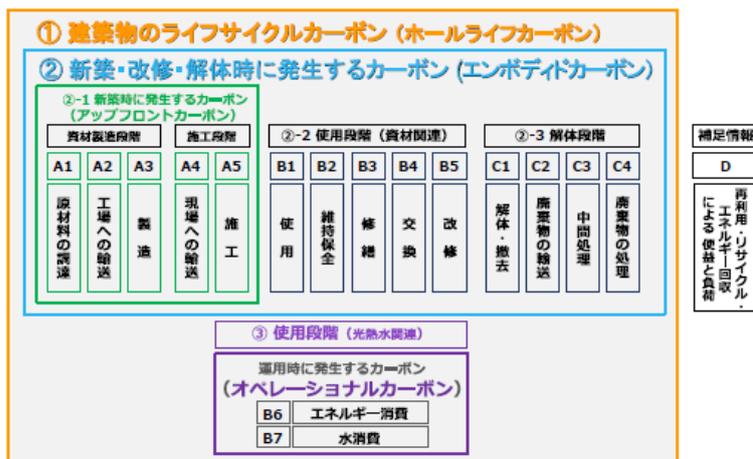
1. 調査研究の背景と目的

2015年12月パリ協定が採択され、世界各国の気候変動・地球温暖化対策は「低炭素化」から「脱炭素化」へと歴史的な大転換が行われ、2050年カーボンニュートラルの実現が世界的な共通テーマとなっている。

このような動きの中で、我が国の最終エネルギー消費は業務・家庭部門が大きく増加している状況にあり、2021年10月に決定した地球温暖化対策実行計画では、2030年温室効果ガス削減目標を2013年比全体で46%削減とした中で業務部門が51%削減、家庭部門が66%削減、合わせた住宅・建築物分野が58%削減と他の部門に比べ高い削減目標が設定された。

一方、欧米を中心に建築物におけるカーボンニュートラルの実現に向けて、使用時の

省エネ・創エネだけでなく、図表1に示す建築資材の製造・建設施工段階・使用段階・廃棄・リサイクルの各段階、いわゆる建築物のライフサイクル全体を通じたCO₂の排出（ホールライフカーボン：WLC）の削減に向けた議論が展開されている。特に、エンボディドカーボン（EC）のうち建物新築時の製造・建設段階で発生するアップフロントカーボン（AC）の削減に向けて、その削減量を建築規制しよ



出典：住宅・建築 SDGs フォーラム第21回シンポジウム_村上周三 2023/5/15

「建築分野におけるライフサイクルカーボン問題」

図表1 ホールライフカーボンの枠組み

うとする先進的な取組が見られる。

米国建築家協会では建物寿命で考えると、新築時のCO₂発生量（AC）割合が50%を超えるレポート¹⁾を公表し、IEAは2050年には現在の建築ストックの約半分が使用される可能性があるとして報告²⁾する等、新築建物ばかりでなく既築建物の脱炭素化について注目され、建替えではなく改修・設備更新も有効と言われている。

以上の様な状況の中、我が国は、新築建物における省エネ性能向上は一定の成果を上げている³⁾が、今後大規模な改修が見込まれる既築建物の省エネ化が課題^{4) 5)}となって

おり 2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、既築建物の脱炭素化に資する技術開発が必要である。

一般的に省エネ改修計画は対象建物の図面をもとに、先ず外皮性能を評価し、その改修検討を行う。更に、スペース等の制約条件や居ながら工事等の施工条件を考慮しコスト・工期も判断して実施計画を決定するため高い改修技術と施工技術のノウハウを有する必要がある。しかし、現在、建設業界を取り巻く環境は、建設技能労働者・一級建築士の高齢化⁶⁾ や省エネ基準に習熟していない中小工務店等の課題⁷⁾、既存建物の設計図書が無く、必要な設計図書の復元に設計業務を要している⁸⁾ などが指摘されている。

近年、スマホ等のデバイスに LiDAR 測量機能が搭載され、低コストでかつ軽量、高精度で扱いやすい 3D 計測（点群データ取得）ができるようになった。そこで、本研究では、スマホ等のデバイスの LiDAR 測量機能を利用して、容易に既築建物の図面を作成するスマホ等のアプリを開発し、その精度や作成時間の確認を行う。更に 3D 計測で取得した建物形状等のデジタルデータを使って ZEB 及び ZEH の評価に用いられる BEI（Building Energy Index）を算出するエネルギー消費性能計算プログラムに自動入力を行う手法について検討することを目的とする。

結果、既築建物の ZEB 改修・ZEH 改修検討の迅速化・効率化（一般作業員による LiDAR 測量とその取得データを遠隔で専門技術者が確認・計画策定、メーカー・施工者との 3D データによる検討依頼等の実施）が期待できる。

- 1) 米国建築家協会（AIA）「カーボンリーダーシップフォーラム建築家向け実質炭素量ツールキット」
<https://carbonleadershipforum.org/clf-architect-toolkit/>
- 2) IEA 「エネルギー技術展望 2020（Energy Technology Perspectives 2020）」
<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>
- 3) 新築建築物の環境性に関するデータ_国土交通省 2024.03
<https://www.mlit.go.jp/common/001730977.pdf>
- 4) 第 23 回シンポジウム脱炭素化に向けた既存住宅改修の加速-現状と課題_IBECs
https://www.ibecs.or.jp/sdgsforum/doc/symp_sdgs_23th_240423_doc.pdf
- 5) 既存ビル ZEB 化に向けた取組み_三菱電機技報 vol.97・No.11・2023
<https://www.giho.mitsubishielectric.co.jp/giho/pdf/2023/2311107.pdf>
- 6) 国交省_建築 BIM の意義と取組状況について_ 2023 年 12 月
<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/content/001716005.pdf>
- 7) 国交省_社会資本整備審議会第 45 回建築分科会第 20 回建築環境部会及び第 17 回建築基準制度部会合同会議参考資料 3_P50
<https://www.mlit.go.jp/common/001426768.pdf>
- 8) 国交省_令和 5 年度第 2 回中央建築士審査会
<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/content/001712808.pdf>

2. 調査研究の方法と実施体制

国交省は近年の ICT 技術の進展を受け、建設現場の生産性向上を目的とした取組とし

て「i-Construction」を実施しており、その中で LiDAR 測定の活用に関する調査研究を行っている。その調査研究内容を確認参考にして、スマホに搭載する LiDAR 測量アプリ開発を行った。

アプリ完成後、「中小設計事務所」「エネルギー供給・エンジニアリング会社」「建材メーカー」「地方自治体」に対して、その操作及び動作状況及び測量結果を紹介し、開発した LiDAR 測量アプリについてヒヤリングを実施した。

そして本調査研究について、四半期に 1 回の頻度で共同研究者で構成する委員会を開催し、進捗確認・評価を行った。

3. 調査研究の結果

3.1 LiDAR 測量活用調査報告の確認と開発スマホ搭載 LiDAR アプリの要件

国交省中部地方整備局が「中部インフラ DX 行動計画」の中で用地調査等業務を地上設置型及びハンディ型の各 LiDAR 測量機を使用し建物形状を測量した調査報告が発表されていた。同報告結果から、

- ① 地上設置型の測量精度は良いものの、計測場所ごとに測量機を移動設置する時間が必要で、現場調査時間が短縮できず、ハンディ型の測量精度は地上設置型より劣るが、現場調査時間は大幅に短縮することが確認された。
- ② LiDAR 測量機を使用して建物図面作成には、LiDAR 測量した際に、建物以外の対象物（家具や家電品等）も点群データとして取得するため、地上設置型・ハンディ型共にそれを削除するフィルタリング作業時間が必要なことが確認された。
- ③ 3D 点群データから 2D の CAD 図を作成する時間も必要なことが確認された。

以上から、スマホに搭載する LiDAR 測量アプリ開発の要件として、以下の 2 点を確認した。

- ハンディ型 LiDAR 測量機の報告を踏まえて、スマホ搭載の LiDAR 測量アプリ測量精度向上策を検討
- 3D 点群データのフィルタリング及び 2D の CAD 図作成には高速編集する点群処理機能の検討

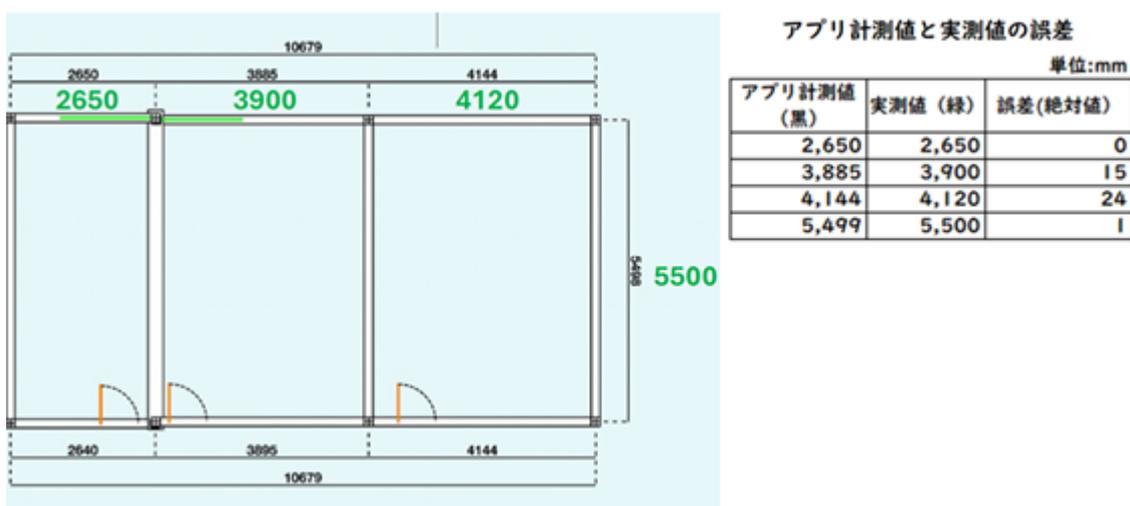
3.2 スマホ搭載 LiDAR 測量アプリの開発とその結果

共同研究者(株)マプリィ社の 2 階建て社屋（図表 2）を測量対象に LiDAR 測量アプリ開発を行った。結果、開発した LiDAR 測量アプリによるフィルタリング、CAD 図作成は瞬時にできた。なお、同アプリは iPhone にインストールし行った。Apple 社は 2020



図表 2 LiDAR 測量対象

年発売の iPhone 12Pro から LiDAR 機能を搭載し、以降同シリーズに搭載している。詳細な仕様は公表していないが、一般的には 50mm 程度の誤差範囲で点群データを取得できると言われている。今回開発したアプリでは 1 階部分の 3 室平面図で、24mm と実寸法の 1% 以下の誤差 ($24/4,120 \div 0.58\%$) で計測できた（図表 3）。



図表3 今回開発した LiDAR 測量アプリを使用した計測結果

実際に、LiDAR 測量アプリを起動し部屋の形状を計測している様子の動画を以下の YouTube で公開しているので、ご確認頂きたい。

https://youtu.be/tWsZ_zsQOjU

3.3 調査研究内容に関する主なヒヤリング結果

① 中小設計事務所

- 既築改修検討を請負した多くの木造住宅は図面がないケースが多く、図面作成に時間を要しているが、確認した携帯アプリは一人作業で現調ができ、遠隔で確認できることは画期的、の印象を持った。
- 改修工事計画の効率的な施工者・メーカーとの協議によるコスト削減への期待は、逆に付加価値的な効果（例えば工期が短くなる等）が期待でき、コストアップになる可能性もある。

② エネルギー供給・エンジニアリング会社

- 既に LiDAR 測量について説明を受けたことがあったが、動画で確認した点群データから CAD 図生成が短時間でできることに大変興味を持った。
- 熱源設備と配管などの取り合いといった細かな施工計画レベルの測量と図面作成も行えるようにしてほしい。

③ 建材メーカー

- 今回説明を受けた LiDAR 測量アプリはまだ開発途上という印象を受けた。しかし、壁芯寸法の推計も可能となる開発を進めていて、その目途も立っていることも理解できた。
- LiDAR 測量は現調作業の省人化を目的としていることは理解できたが、現在行っている現調での測量は、単に寸法だけを計測しているわけでは無く、他の調査（躯体の劣化度合い等）も行っていることを理解してほしい。

④ 地方自治体

- ヒヤリング先の自治体の既存施設建物の建築図は見難い場合が多く、これまで ZEB

化検討した建物では図面の復元に応分の予算を投入してきた。

- 施設計画管理する業務を行う施設管理部門の職員自ら既存施設建物改修計画を策定するために、古い図面を復元する際に利用できれば大変ありがたい。

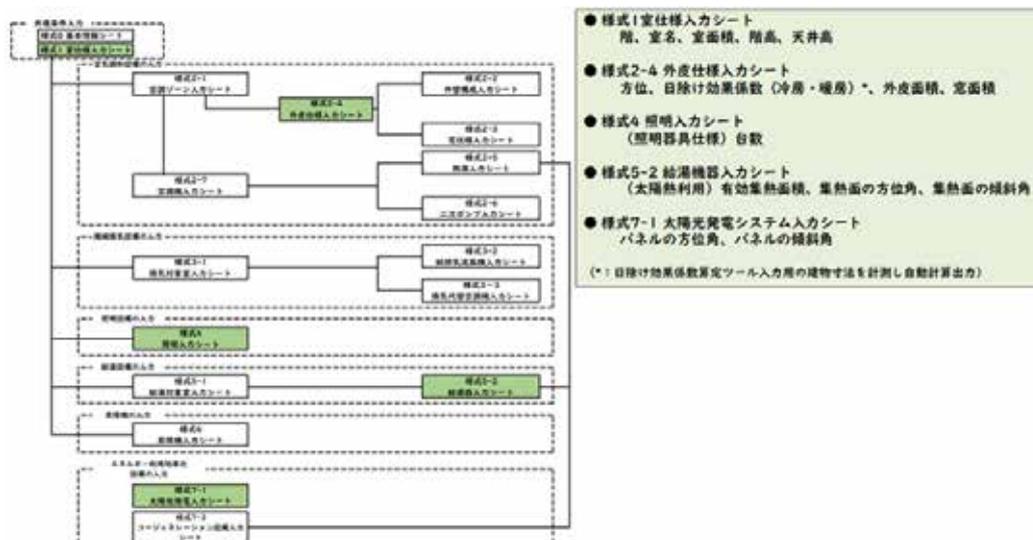
3.4 その他

① LiDAR 測量アプリを採用した場合に期待される事項

- 様々な場所、用途の建物の計測が可能
- 写真撮影・赤外線カメラ（外付け）による様々なデータの入手と活用
- 作業従事者の省人化と一般作業員でも建物計測データ入手が可能
- 15 年間保存義務となった既築建築物の設計図書及び省エネ適合判定関係図の作成

② ZEB、ZEH の評価を行う WEBPRO 入力シートへの LiDAR 測量データの活用

ZEB、ZEH の評価はエネルギー消費性能計算プログラム（WEBPRO）で算出した BEI で行う。そこで省エネ改修計画を評価する中で、LiDAR 測量データを WEBPRO 入力シートに自動入力する。結果、省エネ改修に関し専門知識が無い一般作業員が LiDAR 測量で得たデータを保存、遠隔で専門技術者が確認・計画策定を行って省人化に繋がることが期待される。図表 4 に自動入力を想定している WEBPRO 入力シート（緑）を示す。



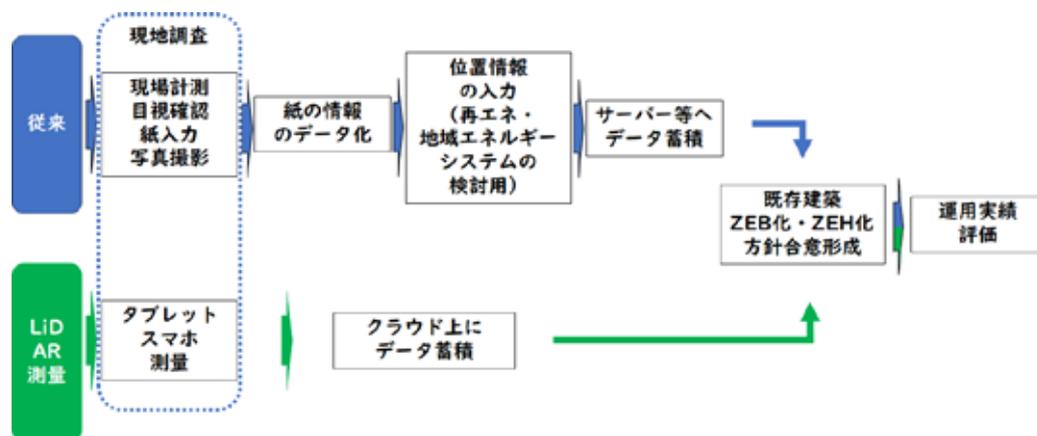
図表 4 WEBPRO 入力シート（緑）に自動入力する LiDAR 測量データ

4. 考察及び今後の展開

4.1 従来方式と LiDAR 測量アプリ方式の既築建物の脱炭素化検討比較

従来の現地調査は、スチール製メジャー等を活用した測量計測と共に目視による確認を行い、その結果を紙入力、後ほど再確認を行う目的で写真撮影を行う。その後、オフィス等でその内容をデータとして入力し改修計画を開始する。それに対して、LiDAR 測量アプリを用いた場合には、スマホ等のデバイス使って一般作業員等が LiDAR 測量で点群データを取得、そのデータを使用し専門技術者が各部材の属性情報(名称や形状、

寸法、製品規格、仕様、数量や単価等)の紐づけを行い、WEBPROを使用してZEB、ZEHの検討、判定を行うことができる。更に、改修後の運用実績評価への活用も行う。



図表5 既築建物の脱炭素化の進め方・従来方式とLiDAR測量アプリ方式の比較

4.2 今後の展開

一建物では様々な建築的な制約から脱炭素改修し難い既築建物があると思われる。その際、街区単位で再エネや廃熱等の活用を検討する手法としてiPhone等のGIS機能を使い、地形情報の計測データ(距離・勾配等)を確認しエネルギー融通シミュレーションを行う事が可能である。図表6に同機能を活用した計測結果を示す。

その他、ZEB化、ZEH化した建物で30分毎の電力使用量が確認できるスマートメータのデータを活用、更にiPhone等のデバイスに外付け赤外線カメラを活用して建物外皮放熱



図表6 GIS機能を活用した計測データ

ロスを確認等、省エネ改修工事後の既築建物の運用評価の継続実施が期待される。最後に、特に地方自治体は経年化した既築建物を多数保有し、限られた人材と予算が想定される一方、早期に施設の脱炭素化が求められていることから、地方自治体にはLiDAR測量アプリを活用し、既築建物の脱炭素化を実施する先導的な役割を期待している。

最後に、本調査研究にあたって、iPhoneを使用したLiDAR測量アプリの開発とその具体的な活用モデルの検討について共同研究者の永井猛氏に主要な役割を担って頂いた。ここに感謝を申し上げる。