

国土交通省総合技術開発プロジェクト H27～29年度
3次元地理空間情報を活用した安心・安全・快適な
社会の実現のための技術開発

社会基盤としての3次元地図の整備・更新技術の開発

②3次元空間モデリングシステムの構築 — 廉価に3次元空間をモデル化する技術の開発

国土地理院基本図情報部

平成29年3月

需要

- 高精度測位と地理空間情報・ICTを活用した新サービス実現への期待
 - ・自動車や車いすの自動運行による利便性向上・生活の確保
 - ・高齢者や弱者にも配慮した歩行者移動支援(ナビゲーション)
 - ・災害時の適切な避難誘導による安全、安心の確保 など

課題

- 空間を3次的に表す地図の整備はコスト高
 - ・CADベースの整備方法が主流、近年ではLiDARによる点群計測も普及
 - ・実空間をcmオーダーで低コストに測量する方法は確立されていない

技術的背景

- 測量とは異なる分野から新たな空間のモデリング技術が登場
 - ・CG分野やロボット分野でSfMやSLAMなどのコンピュータービジョンによるモデリング技術が発展
 - ・Kinect等の市販の安価な計測センサーの登場

開発目的

- 低コストな空間のモデリング技術を開発

平成27年度

屋内形状取得技術の検討・調査

- ・ SfM/MVSとSLAMをベースとする技術について調査を実施
- ・ 採用する技術を選定するために評価用モデリングツールを試作

平成28年度

3次元モデリングシステムの開発

使用

3次元モデル試作
課題抽出

- ・ 評価用モデリングツールで屋内空間を計測して比較し、採用する技術を選定
- ・ 採用した技術を実装した3次元モデリングシステムを開発
- ・ 同システムを用いて屋内空間の3次元モデルを試作し、課題を抽出
- ・ コストについても評価

平成29年度

3次元モデリングシステムの改修

3次元地図の仕様に沿ったモデルへの変換手法の開発

使用

3次元モデル作成

精度検証

精度検証のための精密測量

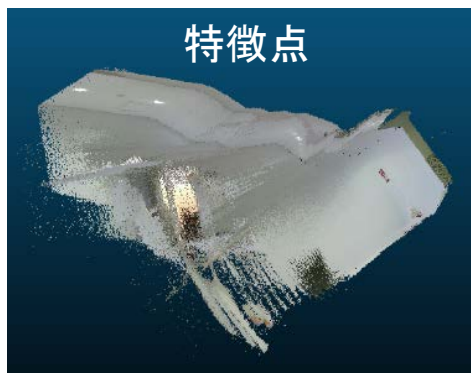
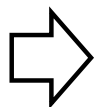
実証

3次元地図の作成・更新

低コストな3次元
情報取得手法

■ 3次元モデル作成手法の調査とモデリングツールの試作

- 6種類の3次元モデリング手法を簡易調査によりスクリーニング
 - ✓ Structure from Motion(SfM) or visual SLAM(vSLAM)
 - ✓ RGB画像のみの手法 or RGB画像と深度センサーを組合せた手法(RGB-D)
 - ✓ カメラ位置と撮影対象形状の算出方法として、特徴点を抽出して利用する手法 or 画像全体(又は一部)の画素値を直接利用するDense Visual手法
- 上記組合せのうち2種類の手法を選定し、評価用モデリングツールを試作
 - ✓ 屋内空間では測定可能距離が数mの安価な深度センサーでも有効
 - ✓ リアルタイムにモデリングできるvSLAMの方が作業コストの観点で有利



比較の結果、RGB-Dセンサーを用いたDense Visual手法によるvSLAM(右側)を低コストなモデリングシステムに用いるモデリング手法として選択

■ 3次元モデリングシステムの開発

■ SLAMの課題

SLAMは連続的に計測しリアルタイムに空間をモデル化するが、一般的に計測の継続とともに徐々に歪みが蓄積し、作成されるモデルも歪んでいく

↓ 歪みを補正する手段が必要

■ 課題の解決案

SLAMの処理の中に拘束条件を加えて歪みを軽減・補正する

- ①地下街等の屋内空間は主に壁、床、天井など直交する平面で構成されていることから、空間で「支配的な面の向き」を決定し、計測した面を支配的な面の向きに合わせこむことで歪みを軽減
- ②計測時には一周して同一箇所に戻ることで、蓄積した歪みを認識し平均化することで歪みを補正
- ③既存の3次元地図データがある場合には利用して歪みを補正するとともに、変化箇所のみモデル化

これらの拘束条件を加えたモデリングシステムを開発

■ 3次元モデリングシステムの構成

● RGB-Dセンサーの追加

- ✓ 前年度に利用したKinect v2に加え、Intel社のRealSense R200を追加し比較



Microsoft Kinect v2

ACアダプタ駆動
 RGB: 1920 × 1080px
 Depth: 512 × 424px
 測距性能: 0.5~8m

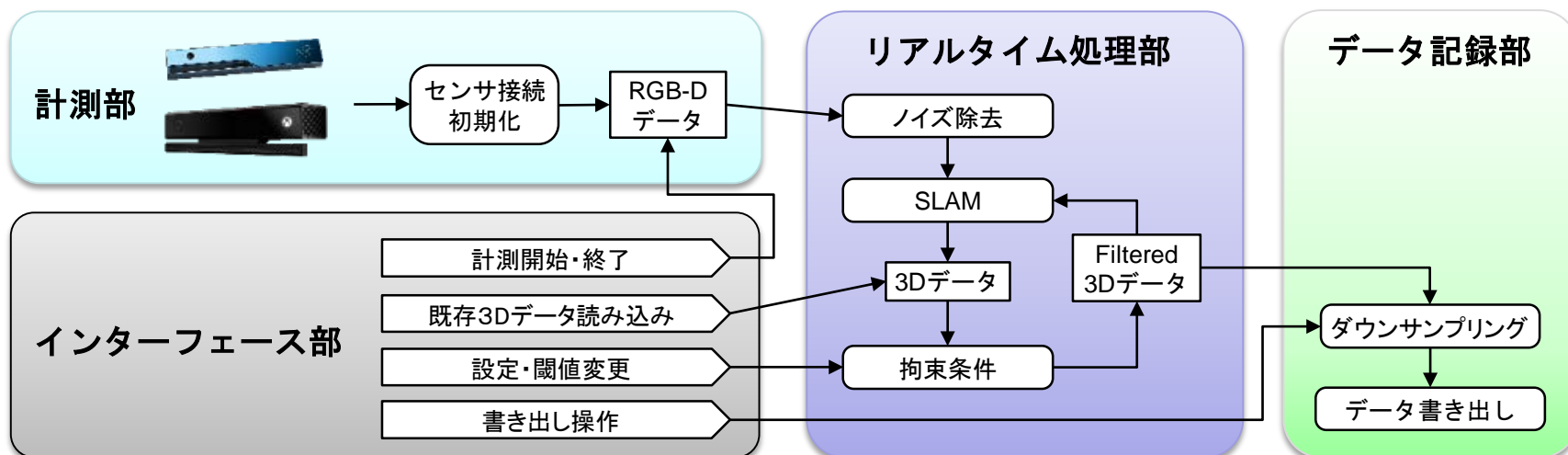


Intel RealSense R200

バスパワー駆動
 RGB: 1920 × 1080px
 Depth: 628 × 468px
 測距性能: 0.5~4m

● システム構成

- ✓ WindowsモバイルPC上で動作するものとして開発

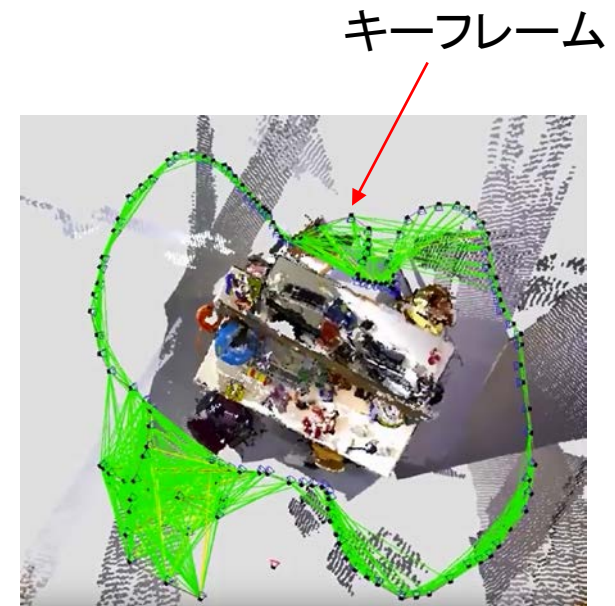
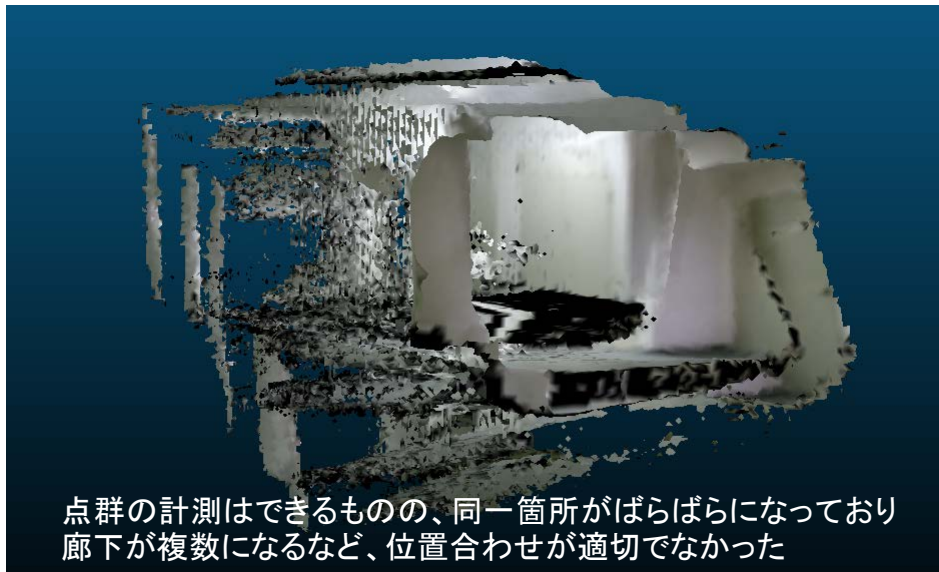


■ SLAMの実装

● Dense Visual Odometry (DVO)-SLAM

独ミュンヘン工科大学(TUM)のグループが2013年に発表した手法。移動するカメラの動画からキーフレーム(点群作成時の画像)を抽出し、キーフレームの画素値を基に(特徴点抽出を行わずに)カメラの移動軌跡と撮影対象の3次元形状を復元するもの。ROS(Robot Operating System)上で動作するプログラムがオープンソースとして公開されている(H27年度の評価ツールでも使用)。

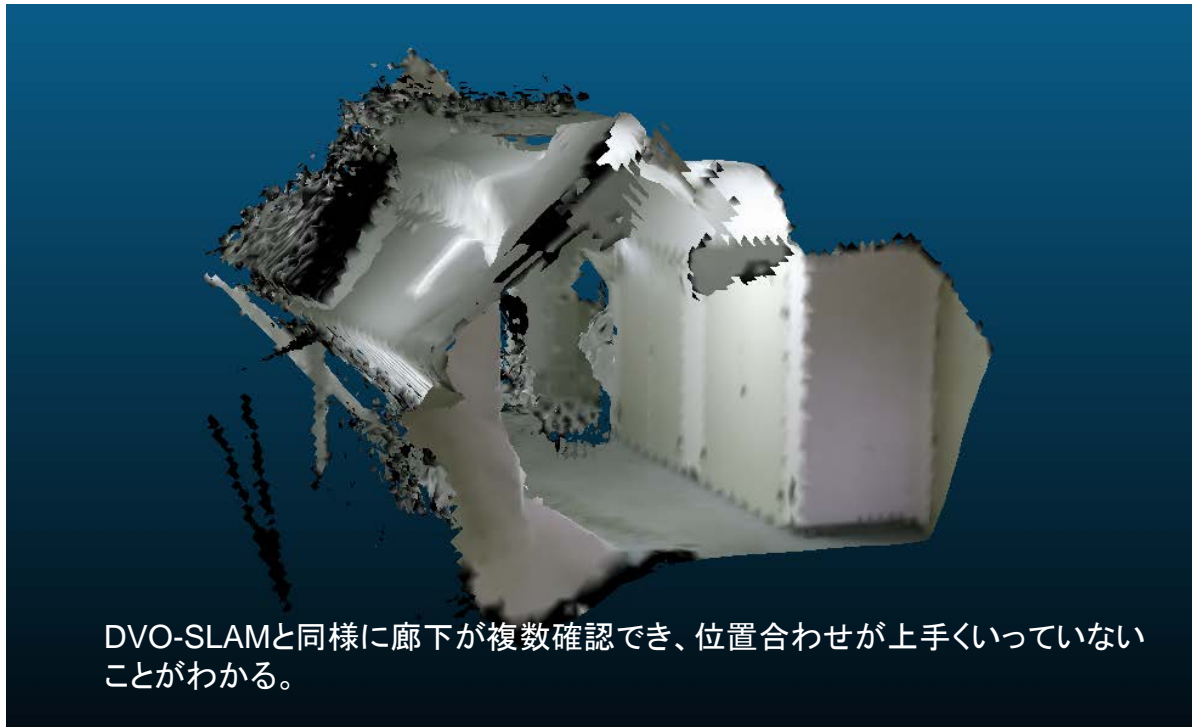
ソースをWindowsに移植して実装したところ、点群の位置合わせが適切に行われなかったため採用を断念した。



■ SLAMの実装

● Dense Planar SLAM

英インペリアル・カレッジ・ロンドンのグループが2014年に発表した手法。平面領域を抽出して追跡することでカメラの移動軌跡と撮影対象の3次元形状を復元するもの。実装したところ、計測条件によって平面領域の特定が安定せず、計測した点群を位置合わせする先が大きく異なる、位置合わせ先が特定できず初期位置に点群が追加される等の不具合があったため採用を断念した。

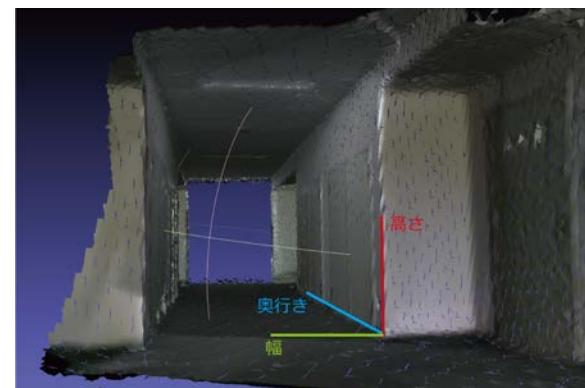


■ SLAMの実装

● Kinect Fusion

マイクロソフトリサーチが2011年に発表した手法。Depthセンサの点群から撮影対象のエッジを抽出して比較することでカメラの位置と撮影対象の3次元形状を復元するもの。Kinect Fusionの元プロジェクトはオープンソースとして公開されている。

Dense Visual SLAMではないものの、実装したところ結果がもっとも良好であったため採用した。



	3Dモデルの計測(m)	実測値(m)	較差(%)
奥行き	3.947	3.894	1.351
高さ	2.550	2.599	-1.894
幅	2.050	2.107	-2.719

- ・ DVO-SLAMやDense Planar SLAMと比べて位置合わせが適切に行われていることが確認できる。
- ・ CADデータ化までを想定した場合、DVO-SLAMとDense Planar SLAMは対応が非常に難しく、Kinect Fusionのデータの方が容易である。

■ 開発上で明らかとなった課題

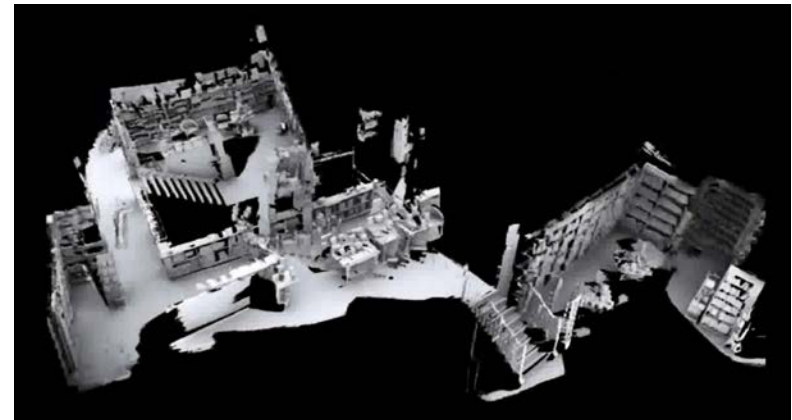
- 計測範囲が狭小

今回開発したモデリングシステムは、ロボット移動のためのSLAM(DVO-SLAMやDense Planar SLAM)が実装レベルでうまく機能しなかったため、物体の3DスキャンのためのSLAM(Kinect Fusion)を採用したものとなった。

そのため広範囲の計測に対応しておらず、32GBのRAMを積んだPCであっても、一度の計測で10m四方程度の範囲しかモデリングできないものとなった。

より広い範囲の計測に対応する論文も発表されていることから、今後、プログラムを改善することにより計測範囲を広げたい。

Scalable Real-time Volumetric Surface Reconstruction
(Microsoft Research, Cambridge, UK : SIGGRAPH 2013)



- そのほか

現在開発中につき納品後に検証

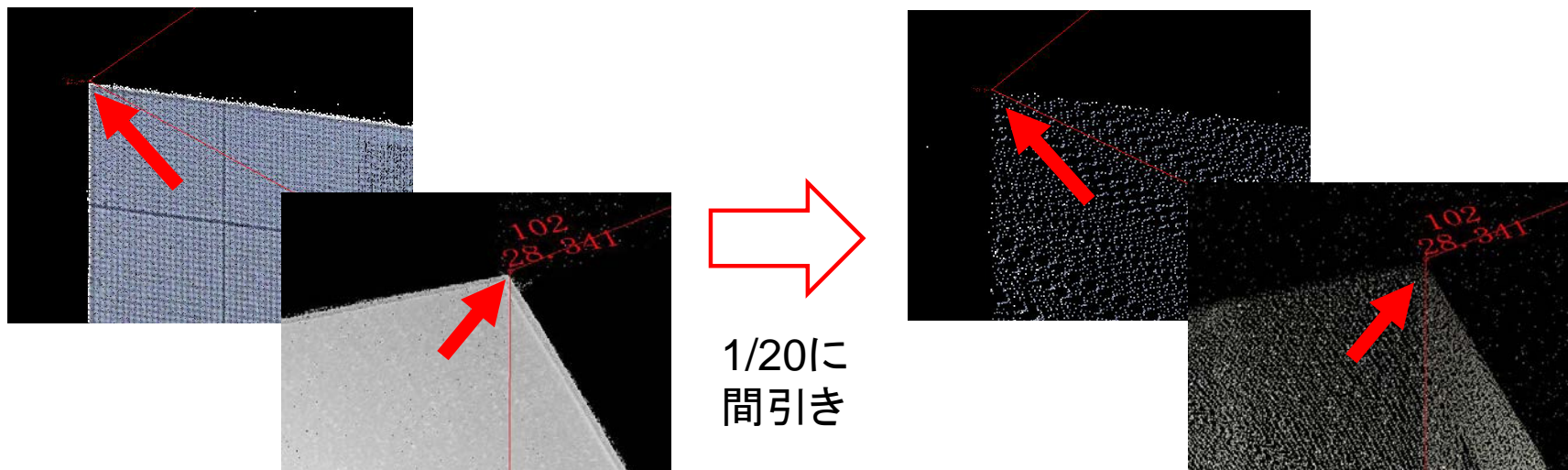
■ 正解データの作成(現在作成中)

- 据え置き型レーザー計測機器(精度 $\pm 2\text{mm}$)を用いて、地図と測量の科学館の高精度な3次元点群とポリゴンモデルを作成



■ 正解データの作成(現在作成中)

- 計測した次元点群の精度検証も実施
 - ✓ 館内各所の角等の実測値(公共座標値)を標定点・検証点として使用
 - ✓ 計測した点群の密度について、オリジナル、5分の1、20分の1などに間引いたものでそれぞれ精度を比較
 - ✓ 標定点の数と配置を変えて精度を比較



- 3次元モデリングシステムの納品後、正解データとモデリングシステムで作成した3次元ポリゴンモデルを比較し、精度と再現性を評価する予定
- 作業人日数の比較によるコスト評価も実施予定

■次年度実施予定の内容

■モデリングシステムの改修

- ・開発段階及び実際にモデリングすることで明らかになった課題への対応
- ・3次元地図の仕様に沿ったモデルへの変換手法の開発

■モデリングシステムの精度検証

- ・地下街等のテストサイトを設定し、精度検証のための精密測量を実施
- ・テストサイトを改修済みのモデリングシステムで計測し、作成された3次元モデルの精度検証を実施

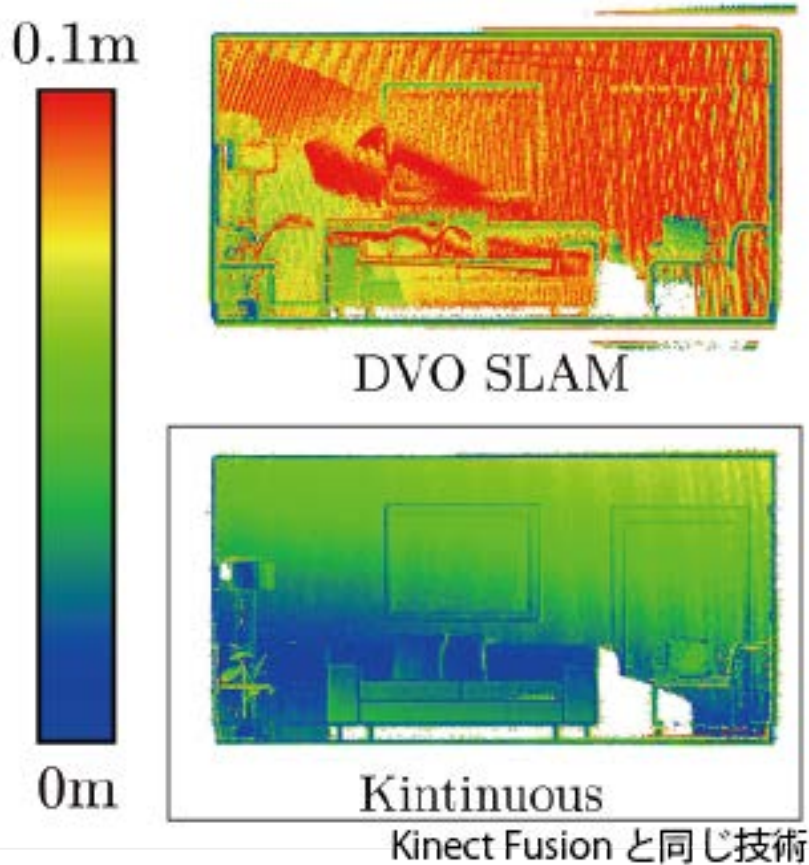
■モデリングシステムのコストの評価

- ・3次元モデルの作成コスト(計測時間+処理時間を尺度とした単位面積あたりの工数)の評価を行う

■低コストな空間のモデリング技術の報告

- ・開発した技術を活用して一定の品質を確保した屋内3次元地図作成・更新を行うための作業方法や適用範囲なども含めてまとめる

SLAMのデータ比較図



据え置き型レーザー計測機器の計測値を真値としたときのモデルの誤差。

DVO-SLAMよりKinect Fusionの技術の方が誤差が少ないことがわかる。

Fig.4:Orthogonal frontal view heat maps showing reconstruction error.

参考:Thomas Whelan, Stefan Leutenegger, Renato F. Salas-Moreno. Ben Glocker and Andrew J. Davison, ElasticFusion: Dense SLAM Without A Pose Graph, Dyson Robotics Laboratory at Imperial College, Department of Computing, Imperial College London, UK, Fig4.

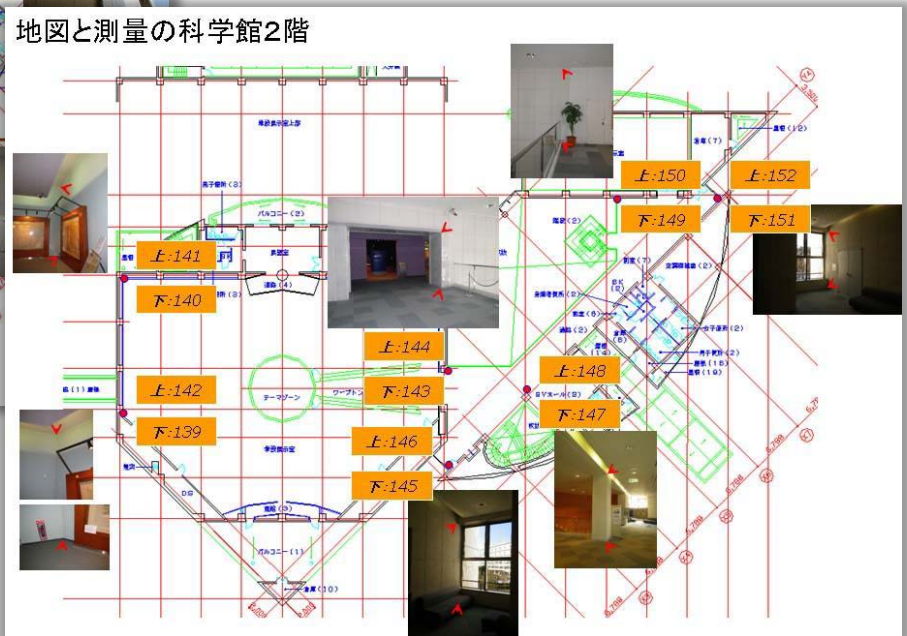
■ 地図と測量の科学館の座標計測

- 過去に平面図・立面図等から3次元モデルを作成し精度を検証
 - ✓ 館内の各所(壁面の角等)に公共測量座標を付与したものを標定点・検証点として再利用

地図と測量の科学館1階



地図と測量の科学館2階



GNSSによる1級基準点測量
 +TSによる建物内外の路線測量
 +放射法による標定点・検証点測量