

# 高精度レーザスキャナとクワッドコプタを用いた レーザ計測群ロボットシステムの開発

大島 漱一郎 (九州大学) 鄭 龍振 (九州大学) 岩下 友美 (九州大学) 倉爪 亮 (九州大学)

## 1. はじめに

大規模対象を地上固定式 3 次元レーザスキャナにより計測する際、一地点からでは観測される領域が限られることから、複数の地点に移動してレーザ計測を繰り返す手法が用いられる。しかし、地上固定式 3 次元レーザスキャナは一般に重く、人手で複数地点に運び、設置するのは困難を伴う。また複数地点からの計測結果を精度よく統合するには、移動後の新たなレーザ設置位置も、何らかの手法により高精度に計測されなければならない。これに対し、我々はこれまでに複数のレーザ計測装置を移動ロボットに搭載し、大規模環境でのレーザ計測とロボットの位置同定を高精度に実現する群ロボットシステム (CPS-SLAM) を提案した [1][2]。図 1 に、これまでに開発した CPS-SLAM のためのレーザ計測群ロボット (CPS-VII) を示す。本システムは、環境計測用レーザスキャナと測量用トータルステーションを搭載した 1 台の親ロボットと、全方位コーナキューブを搭載した 2 台の子ロボットからなる。

図 2 に CPS-SLAM の基本動作を示す。親ロボットは 2 台の静止した子ロボットまでの距離と方位を測量用トータルステーションにより計測することで、親ロボット自身の位置を同定する。また子ロボットも同様に、測量用トータルステーションにより計測される静止した親ロボットまでの距離と方位から、自身の位置を同定する。さらに親ロボットに搭載した環境計測用レーザスキャナにより、同定された位置からの環境計測を繰り返す。最後に、得られた複数の計測データを単純な座標変換により世界座標系に変換、統合することで、大規模環境の 3 次元モデルを得る。図 3 にレーザ計測された建築物の一例を示す。

本稿では、従来のシステム (図 1) では 2 台のレーザ装置と複数の全方位コーナキューブが必要であったのに対し、それらを 1 台のレーザスキャナと基準球に置き換え、さらに地上走行型子ロボットに加えてクワッドコプタを用いることで、高精度な計測と屋外での移動と計測を容易にしたシステムを新たに開発したので報告する。

## 2. レーザ計測群ロボットシステム CPS-VIII

図 4 に新たに開発したレーザ計測群ロボットシステム、CPS-VIII を示す。本システムは、1 台の地上移動型の親ロボットと複数の地上移動型およびクワッドコプタ型子ロボットで構成される。親ロボットには、従来の環境計測用レーザスキャナと測量用トータルステーションに代わり、新たに 3 次元レーザスキャナ (Focus 3D, Faro)、自動整準台 (リズム, AS-21) を搭載している。一方、地上移動型およびクワッドコプタ型子ロ

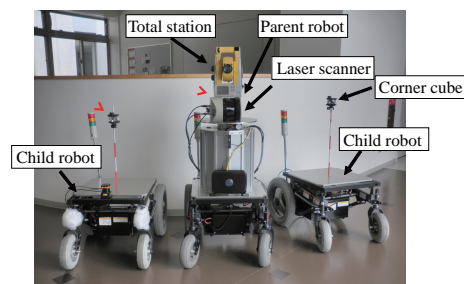


図 1 CPS-SLAM のためのレーザ計測群ロボット CPS-VII

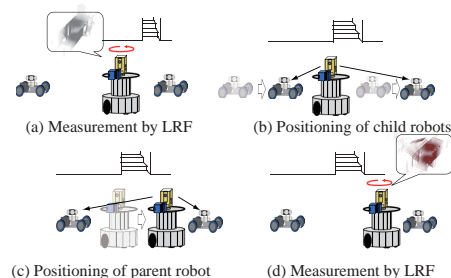


図 2 CPS-SLAM の基本動作

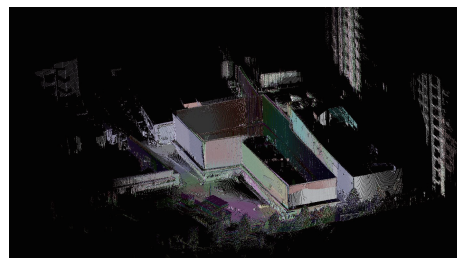


図 3 レーザ計測された建造物の例

ットには、位置同定のための直径 150[mm] の基準球を搭載している。親ロボットの自己位置推定は、レーザスキャナと基準球を用いて行われ、各スキャンにおいて子ロボット上の基準球を検出することにより、複数地点で行われたスキャンの位置合わせを行う。

自動整準台やレーザスキャナに搭載された傾斜計を用いた場合、2 地点で得られたスキャンデータの位置合わせには、最低 2 つの基準球を両方で検出する必要がある。しかし 2 つの基準球だけを用いた場合、レーザスキャナを搭載した親ロボットが移動した後、

1. 基準球を含む周囲環境のレーザ計測
2. 基準球を搭載した子ロボットが移動
3. 移動後の基準球を含むレーザ計測

と、親ロボットは同一地点からのレーザ計測を2度繰り返す必要があり、効率が悪い。

そこで、CPS-VIIIでは3台以上の子ロボットに基準球を搭載することにより、計測の効率化を図っている。3つの基準球を用いた環境計測の動作例を図5に示す。

1. まず、レーザスキャナから基準球を検出できる範囲に3つの基準球(1,2,3)を配置し、レーザ計測を行う。(図5(a))
2. 次に、3つの基準球のうちの少なくとも2つの基準球(2,3)を検出できる位置に親ロボットを移動させる。
3. 同時に、レーザスキャナから最も遠い位置にある基準球(1)を、親ロボットの先のレーザ検出範囲内(1')に移動させ、レーザ計測を行う。(図5(b))
4. 計測の前で場所が変わっていない基準球(2,3)を用い、親ロボットの位置同定、すなわち移動前後のスキャンデータを位置合わせする。
5. 2つの基準球(1',3)について、2~5を繰り返す。(図5(c))

これにより、親ロボットによる同一地点からのレーザ計測は1度で済み、効率的な移動と計測が可能となる。得られた局所的なスキャンデータは、基準球の観測による親ロボットの位置同定により、簡単な座標変換で世界座標系に変換でき、大規模な環境モデルを容易に取得できる。

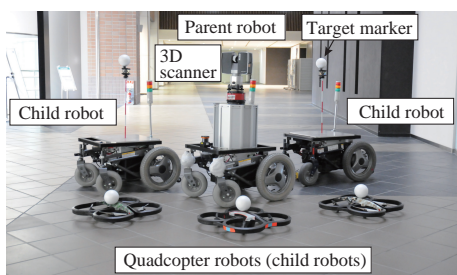


図4 新たに開発したレーザ計測群ロボット CPS-VIII

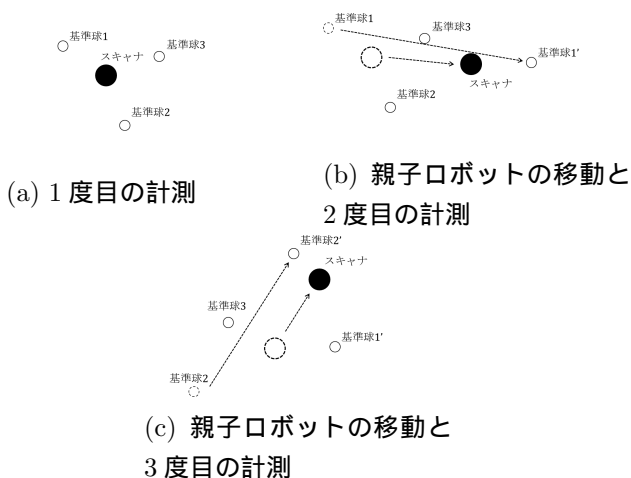


図5 3つの基準球を用いた位置同定

### 3. 大規模環境のレーザ計測実験

新たに構築したCPS-VIII(図4)を用いて、屋外環境での計測実験を行った。ただし本実験では、複数の地上走行型およびクワッドコプタ型の子ロボットのうち、クワッドコプタ型の子ロボットのみを用いた。基準球を載せた子ロボットが移動している様子を図6に示す。また、計測により得られたビル3次元形状を図7に示す。実験では、図7の手前側から計測を開始し、奥側に移動しつつ7回の計測を繰り返した。計測地点のうち最も遠い2地点の直線距離は50[m]、データ点数は約3億点であった。複数地点での計測結果を統合して得られた図7から、新たに開発したCPS-VIIIにより屋外で3次元環境地図の取得が可能であることを確認した。

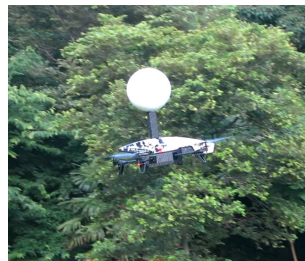


図6 子ロボットの移動



図7 得られた建物の3Dモデル

### 4. まとめ

本稿では、著者らが提案しているCPS-SLAMによる大規模環境のレーザ計測システムに対し、新たに開発したCPS-VIIIを紹介した。本システムは3次元レーザスキャナ(Faro 3D)と基準球を用い、従来の地上走行型子ロボットに加え、クワッドコプタ型ロボットを用いることで、特に屋外環境での計測を容易にするものである。実機による屋外環境での計測実験を行い、高精度な3次元環境地図を取得できることを確認した。

### 謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究(A)(課題番号26249029)の支援を受けた

### 参考文献

- [1] 鄭 龍振, 岩下 友美, 倉爪 亮, CPS-SLAMの研究 -計測精度の向上とトンネル出来形計測システムの構築-, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.2, pp.180-187, 2012
- [2] Yukihiro Tobata, Ryo Kurazume, Yusuke Noda, Kai Lingemann, YumiIwashita, Tsutomu Hasegawa, Laser-based geometrical modeling of large-scale architectural structures using co-operative multiple robots, Autonomous Robot, Vol.32, No.1, pp. 49-62, 2012