

旋回レーザーを使った測量システムの開発

The Surveying System using Rotating Laser Beams

鹿島 ○羽山 勢隆 *

鹿島 越智達之 **

鹿島 山口 功 ***

By Seiryu Hayama, Tatsutuki Ochi, and Isao Yamaguchi

この数年間において、全国で計画あるいは造成されているゴルフコースのデザインは、1000㎡前後の大きな、そして、複雑で微妙なアンジュレーションをもつグリーン、大小のマウンドが多数配置されたフェアウェイ、大きなハザードのレイアウト等、ますます、人工的な美しさと高い戦略性を兼ね備えたものが目立っている。そして、これらのコースの施工には、設計者の景観的、戦略的な設計思想が十分反映されるように、設計図をもとに、さまざまな測量方法が工夫、考案され実施されている。

本稿は、従来の光学式測量機器を用いた方法とは異なり、これらのグリーンやフェアウェイに代表される連続した3次元曲面の施工および維持管理の際の計測に特に有用な、旋回するレーザー光とコンピュータを用いた新しい測量システムについて、その概要と適用事例を紹介する。

【キーワード】ゴルフコース、レーザー、測量システム

1. はじめに

一般のゴルファーにとって、スコアの約半分は、グリーン上で費やされるストロークであり、コース設計者が英知を注ぐのもパッティング・グリーンである。そして、コース運営を通じて最も人手と費用がかかるのもグリーンである。さらに、ゴルフコースを造成する立場からも、苦勞するものの一つが、こういったグリーンのような連続したなめらかな3次元曲面をいかにして造形するかである。また完成したグリーンがコース設計者のイメージ通りに再現されているかを図化して確認するにも、細かい起伏等を考えると容易ではない。これらの作業には、従

来より、トランシットとレベル、あるいは最近では、トータルステーションといった光学式測量機器を中心に利用してきた。

そして、この度、半導体レーザー、フォトセンサ、コンピュータを使って、より速く正確に、大量のデータを収集し、図化するシステムを開発した。

このシステムは、従来の方法と比較して、

- ① 一人で測定が可能
- ② 測定はランダムで記録は不要
- ③ 人手による測定データの処理や図化が不要

などの利点があげられる。そこで実証も含めて当社が建設中のゴルフコースに適用したので、その事例とシステムの概要、特徴、今後の課題、将来の展開について述べる。

* 情報システム部 03-3040-3311

** 建設総事業本部 大阪支店 06-536-3311

*** 建設総事業本部 機械部 03-5561-2032

2. システムの概要

(1) システム構成

a) ハードウェア

- ・レーザー灯台：半導体レーザー発信器 1)
- ・測定車：アレイフォトセンサ群、信処理用ボードコンピュータ、データ収集用コンピュータ
- ・データ処理作図用ハンドヘルドコンピュータ
- ・データ処理作図用汎用コンピュータ



写真-1 レーザー灯台

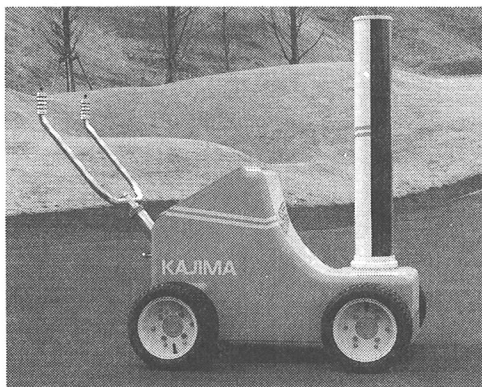


写真-2 測定車

b) ソフトウェア

- ・測定用：制御プログラム、データ収集プログラム、測点表示プログラム
- ・データ処理作図用：データ変換プログラム、等高線図プログラム、パース図プログラム

(2) システムの仕様

a) レーザー灯台

- ・水平面有効範囲：角度 約 150°
距離 半径 100 m

但し、システム測定範囲は、図-1に示す部分。

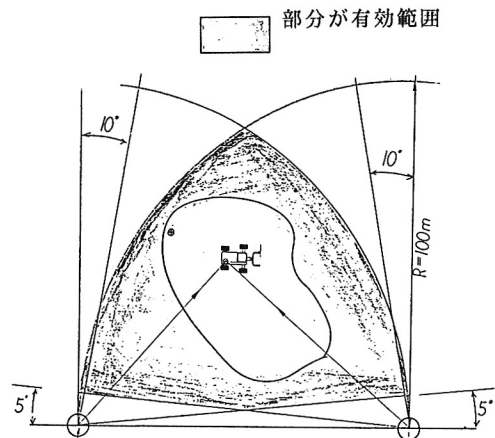


図-1 システム測定範囲

- ・水平面検出精度： ± 10 秒
- ・レーザー波長： 830 nm
- ・レーザー出力： 1 mW
- ・ビーム径： $10\text{ mm} \sim 12\text{ mm}$
- ・灯台回転数： 600 rpm

b) 測定車

- ・本体寸法： 高さ×幅×長さ
 $1400\text{ mm} \times 850\text{ mm} \times 1000\text{ mm}$
- ・重量： 70 kg
- ・タイヤ： 低圧4輪
- ・ボディー： FRP
- ・ハンドル： 後輪ステアリング
- ・ブレーキ： 前輪ドラムブレーキ
- ・センサ長： 768 mm
- ・フォトダイオード： 128 素子
- ・高さ分解能： 6 mm
- ・水平測角精度： 3 分

図-2に測定車の構成図を示す。

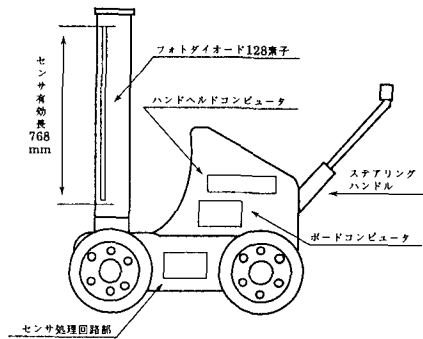


図-2 測定車構成図

- c) データ収集コンピュータ
- d) データ処理用ハンドヘルドコンピュータ
- d) 測定仕様
 - ・ 1回の測定点数: 5000点
 - ・ 測定方法: ①自動サンプリング
(サンプリング間隔は可変)
 - ②手動
(キー操作による1点毎)

(3) 測定原理 2)

a) レーザー灯台の構造と線対称ビーム

図-3はレーザー灯台の構造を示したものである。回転台の下方より発射された1本のレーザービームはプリズム、ミラーの組合せによる光学構成により分割され、さらにテーブルが回転することにより2本の正確な線対称ビームが作り出される。このとき線対称軸は固定鏡の法線方向であるから灯台を設置する方向できまり、テーブルの回転による影響は受けて一定の方向を保持している。

b) 角度の測定

ターンテーブルを水平に設置し、一定速度で回転させると2本の線対称ビームは互いに逆方向に水平平旋回する。一方、測定車には、この2本のビームを検出できる、垂直に長いセンサとビームの受光時間間隔を測定する電子時計を搭載している。これらより、2本の逆行するビームの通過時間を測定すれば、対称軸と測定車のセンサがなす角が得られる。

c) 平面座標の決定

座標が既知の2点を結ぶ線を基準線とし、この基準線と線対称ビームの対称軸が一致するようにレーザー灯台を設置する。そして図-4に示すように測定点と基準線のなす、それぞれの角 θ_1 、 θ_2 を求める。この2つの角度と既知の基準点間の距離より平面座標(X, Y)が決定できる。

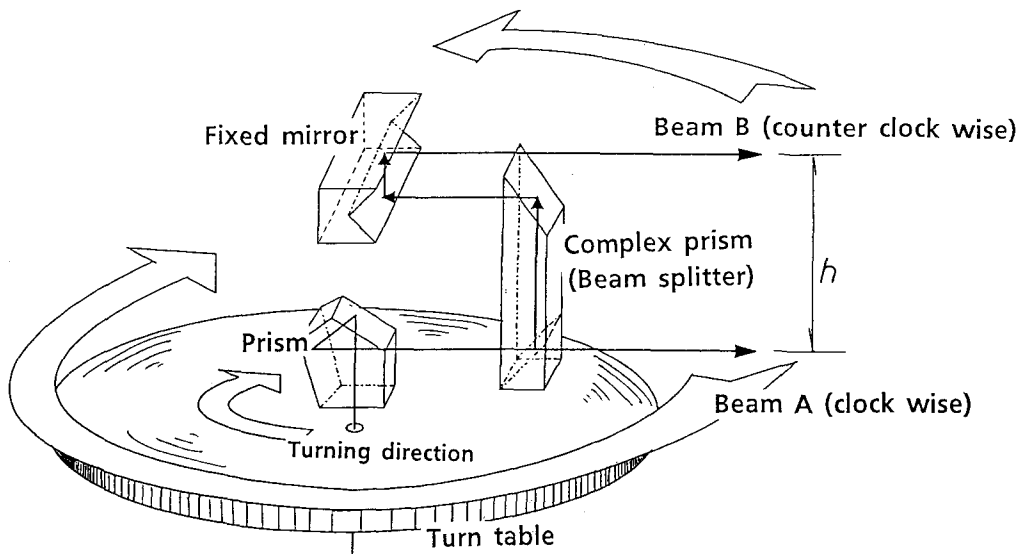


図-3 レーザー灯台の構造

d) 高さの決定

レーザー灯台から発射される、線対称な2本のビームは精密に水平を保持する構造（自動レベルの様な）としている。そのうちの1本を使用する。測定車のセンサ部は、フォトダイオードを縦方向に多数配置したアレイセンサとし、レーザービームの当たっているセンサにより高さを決定する。（図-5）

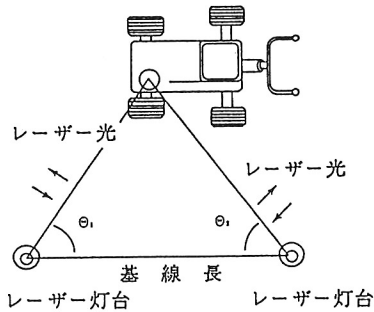


図-4 平面位置の決定

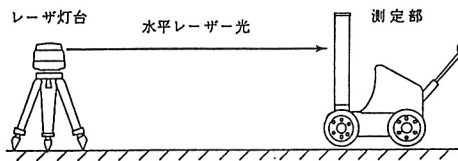


図-5 高さの決定

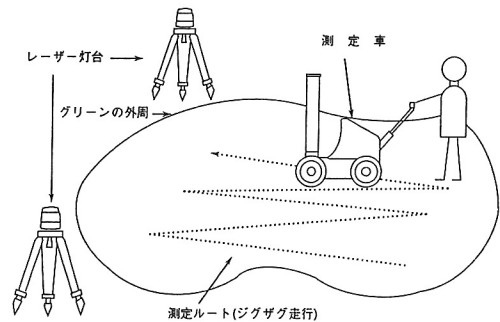


図-6 測定の概念図



写真-3 測定状況

(4) 測定

実際の測定は以下の手順で行う。

- ①レーザー灯台の測定有効角度内に測定エリアが入るように、2台の灯台を設置する。
- ②基準点の高さを測定用コンピュータにプリセットする。
- ③同様に基準点間距離をプリセットする。
- ④測定車を移動しながら、1点/秒の自動測定を行う。

測定の概念図を図-6に、測定状況を写真-3に示す。

(5) データ処理、作図

収集された測定データは、まとめてデータ処理コンピュータにライン接続又はディスクで転送し変換及び作図を行う。

a) データ変換

転送されたデータは3次元(x, y, z)のランダムに測定されたデータである。これを任意に指定された格子上的高さデータへ変換する。

b) 等高線図

格子上的高さへ変換されたデータを使って任意のピッチの等高線を作図する。図-7に3cmピッチのコンター図の例を示す。

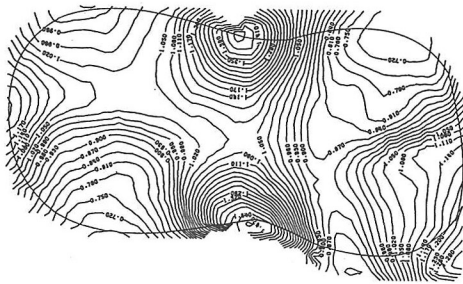


図-7 コンター図

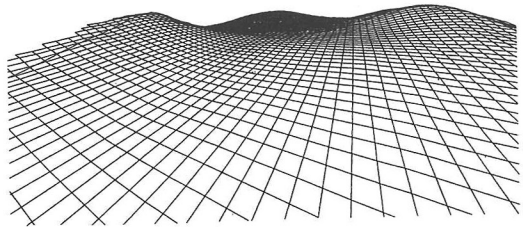


図-10 近景パース

c) パース図

同じく、格子上のデータを使って、任意の視点からのパース図を作成する。このとき、例えば、グリーン上に立った位置からの景観図やわずかなアンジュレーションを拡大するために、高さ方向を誇張して表現することも可能である。図-8に5倍に誇張したパース図を、図-9に拡大しない場合の図を示す。図-10はグリーン上の位置からの景観である。また、同データを利用して、CG用コンピュータによりカラーサーフェイスモデルを作成できる。写真-4に示す。

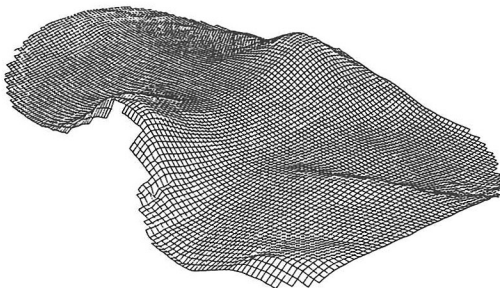


図-8 遠景パース（高さ5倍）

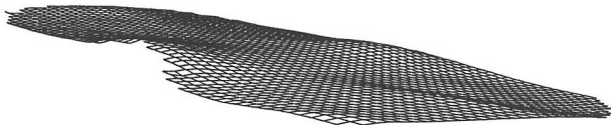


図-9 遠景パース（高さ1倍）

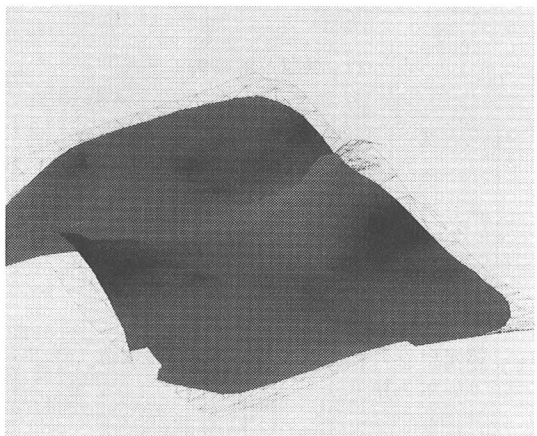


写真-4 サーフェイスモデル

3. 特徴

本システムの特徴を以下に述べる。

- ①ターゲットの視準の必要がない。
- ②非接触で測定できる。
- ③センサ側でデータが採取されるので、移動しながら測定できる。
- ④一對のレーザー灯台に複数台のセンサが投入できるので、同じ座標系が使用できる。
- ⑤夜間も測定できる。
- ⑥測定データの後処理がほとんど必要がない。

4. 今後の課題

図－8 図－9 に示すように、バッティング・グリーンのような微妙な起伏を表現するための基本的な要素技術は確立できたが、実際の使用時には、現在のところ下記の様な課題がある。表－1 にまとめた。

表－1 課題と解決策

課 題	解 決 策
高さの測定範囲が不足	センサ長を長くする 上下にスライドできる構造にする
測定中のデータチェックが不十分	ソフトの改造
測定時のコンピュータ操作が複雑	ソフトの改造

5. 将来の展開

いくつかの適用事例より、グリーンのような3次元曲面の測量には、基本的には従来の方法より有用であることが確認できた。しかし、測量のための準備、操作、測定中のエラー処理等、前節の課題も含めて、解決すべき点も多い。これらについては、改良を加え、さらに有用なシステムとしての完成をめざす予定である。

将来の展開としては、測量システムだけにとどまらず、本システムの特徴でも述べた様に、移動する側にセンサがあるため、施工機械の自動化、ロボット化といった方面への発展の可能性は高い。

【参考文献】

- 1) 榎測機舎と鹿島の共同開発
- 2) 越智達之：線対称な旋回レーザー光を用いた移動ロボットの位置検出システム、日本ロボット学会誌、PP339 ～342, 1987.10