第2010-10号

地上型レーザースキャナーデータ計測の標準化に関する調査研究

金沢工業大学　環境・建築学部
教授　　鹿田　正昭

平成24年11月

助成研究者紹介

しかだ　　　まさあき
鹿　田　正　昭
現職：金沢工業大学環境・建築学部教授（工学博士）
主な著書：
1)福本武明、鹿田正昭他、エース測量学、朝倉書店、ＩＳＢＮ　254-26477-1、平成16年4月
2)近津博文編著、鹿田正昭他、空間情報工学概論　ＩＳＢＮ　4-88941-001-5　日本測量協会　平成17年8月 同上著書の改定版　平成22年3月
3)鹿田正昭、鈴木厚志、中谷友樹、布施孝志、ＧＩＳ実習マニュアル　ArcGIS版、日本測量協会、平成17年5月
他

共同研究者紹介

とくなが　みつはる
徳　永　光　晴
現職：金沢工業大学環境・建築学部教授　（博士（工学））
主な著書：
１）「地理空間情報工学演習」、日本リモートセンシング研究会編、日本測量協会、2009. 11、(編集者、分担執筆)
２）「資源・環境リモートセンシング実用シリーズ地球観測データの利用(2)」、資源・環境観測解析センター編、資源・環境観測解析センター、 2005.3 (分担執筆)
３）「図解リモートセンシング(改訂2版)、日本リモートセンシング研究会編、日本測量協会、 2004.6 (編集者、分担執筆)
他

しもかわ　ゆういち
下　川　雄　一
現職：金沢工業大学環境・建築学部准教授　（博士（工学））
主な論文
１）鈴木雄二、鈴木祥之、須田達:レーザー計測に基づいた伝統木造建築の CADデータ作成手法、歴史都市防災論文集、Vol.3、pp.83-90、2009.
２）木造軸組ヘルスモニタリングのための3次元部材情報管理システム一東本願寺御影堂における基本システムの開発一、下川|雄一・奥田辰雄・須田達・鈴木祥之、日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集A-2分冊、p.483-484、2006.9
他

にしもと　けんせい
西　本　憲　正
現職：株式会社日本海コンサルタント空間情報本部本部長
主な業績：
１）橋本浩一・河原啓一、山村嘉貴、南谷誠司、向友和：ＶＲＳ後処理キネマティック法」による標定点測量の試み　The Experiment of the Pass point survey by”VRS postprocessing kinematic”（社)日本測量協会　応用測量論文集　ＪＡＳＴ　ＶＯＬ.１８　2007.6
２）仙台幸宏、橋本隆司、中正文：”インターネットで入手できる地図情報の利用事例”　地理空間情報フォーラム2009　測技協ワークショップ2009(6/19)の測量調査技術発表会
他

目　次

第１章　序　論

１．１　研究の背景

航空機に搭載したレーザー（航空機レーザー）で計測したデータを公共事業等に利用するためのマニュアルが平成20年に改訂された「公共測量作業規程の準則」第7章に「航空レーザー測量」として規定され、公共測量への適用が開始された。一方、３次元計測技術として各種方面で利活用が著しい「地上型レーザー」については、標準化等のマニュアルが規定されていないため、公共的な活用はまだ少ない状況にある。

１．２　研究の目的

地上型レーザー計測機器の標準化を目指すための実証実験を行い、「地上型レーザー計測マニュアル」（案）に相当する計測のための標準化を策定する。

第２章　アンケート調査

２．１　アンケートの目的

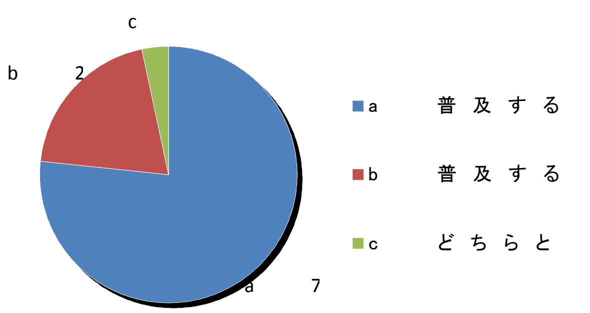
三次元計測に関して取り組むべき方向性や課題について、測量系企業を対象に多数の意見を集約する目的で地上型LPに関するアンケート調査を実施する。

２．２　アンケート結果と分析

今後普及すると答えた企業は75%を占め、普及に向けた課題としては「精度検証」と「作業手法の整備」が62%を占めており、普及には標準化が必要であるという認識に至り、標準化に必要となる条件や項目を策定し、実証実験による精度検証を開始する。

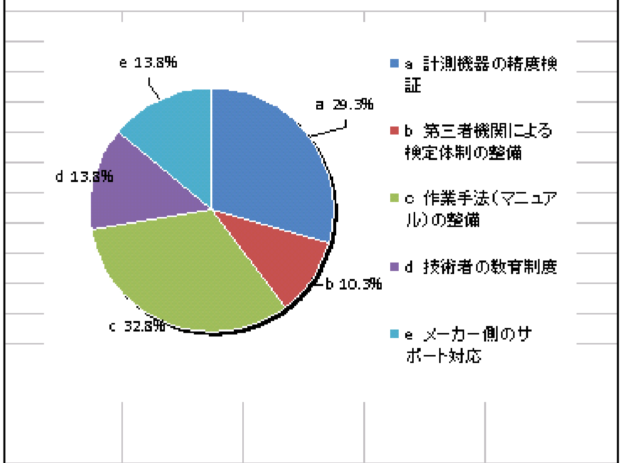
アンケート結果

Ｑ５　将来に向け地上型三次元レーると思いますか。



「普及すると思う」との回答は75%以上占める

Q8 地上型三次元レーザー計測の普及に向けた課題について最も重要と思われるものを2つ選んでください。



課題で「作業手法」、「精度検証」、「教育とサポート」の順で９０％を占める

第３章　実証実験の方法と実施

３．１　精度検証のための各種条件

実証実験において精度に影響を及ぼすと考えられる各種条件を以下に示す。また、実証実験では測定距離と測定角度を指標として検証を行い、真値（トータルステーション（以下、「ＴＳ」という)による計測値）に対する計測値を取得しその分布傾向から精度検証を行って、標準化項目を策定する試みを実施した。

表１　精度検証のための各種条件

計測対象条件	計測気象条件	計測機種条件
１．建物、構造物	１．天候、温度、湿度、気圧	１．機器の軸、回転角
２．材質	２．照度	２．キャリブレーションの点検方法
３．色調	３．その他	３．作業手順(基準点、リフレクター配置)
４．表面状況		４．波長、スポット径
５．入射角		５．取得点群密度と有効範囲
６．その他		６．反射率と取得率

３．２　使用機種と特徴

表 2−１　各機種の性能　その１

ｽｷｬﾅ	ScanStation C10	VZ-400	LMS-Z620
ﾒｰｶｰ	Leica	RIEGL	RIEGL
距離精度	4mm@100m,6mm@300m	5mm@100m	10mm@50m
位置精度	-	3mm@100m	-
最小ｽﾎﾟｯﾄ径	0-50m:4.5mm,(FWHH):7mm	7mm	8mm
最小計測ﾋﾟｯﾁ	任意設定＜1mm	0.002°	0.004°
ﾋﾞｰﾑ広がり角	0-50m:4.5mm,(FWHH):7mm	0.3mrad	1.5cm/100m
ﾚｰｻﾞｰ波長	532nm	1550nm	1550nm
最長測定距離	300m	600m	2,000m
最短測定距離	0.1m	0.5m	2.0m
測定点数	50,000点/1秒間	122,000点/秒	8,000点/秒
ｽｷｬﾝ範囲(水平)	360°	360°	360°
ｽｷｬﾝ範囲(鉛直)	270°	100°	80°
ｽｷｬﾅ重量	13.0kg	9.6kg	15.0Kg

表 2-2　各機種の性能　その２

ｽｷｬﾅ	GS200	ILRIS-3D VP	LMS-Z420i
ﾒｰｶｰ	Nikon Trimble(旧MENSI)	Optech	RIEGL
距離精度	2.5mm@100m	7mm@100m	10mm@50m
位置精度	-	8mm@100m	-
最小ｽﾎﾟｯﾄ径	-	2mm@100m	8mm
最小計測ﾋﾟｯﾁ	0.002°	0.002°	0.006°
ﾋﾞｰﾑ広がり角	0.00344(3mm/50m)	0.00974	2.5cm/100m
ﾚｰｻﾞｰ波長	532nm	1500nm	785nm
最長測定距離	350m	1500m	800m
最短測定距離	1m	3m	2m
測定点数	5,000点/秒	2,500点/秒	8,000点/秒
ｽｷｬﾝ範囲(水平)	360°	40°	360°
ｽｷｬﾝ範囲(鉛直)	60°	40°	80°
ｽｷｬﾅ重量	16.3kg	13.0kg	15.0kg

表 2-3　各機種の性能　その３

ｽｷｬﾅ	GLS-1500	GLS-1000	Photon120
ﾒｰｶｰ	TOPCON	TOPCON	FARO
距離精度	4mm@150m	4mm@150m	2mm@25m
位置精度	6″	6″	―
最小ｽﾎﾟｯﾄ径	6mm(1～40m), 16mm(100m)	6mm(1～40m), 16mm(100m)	3mm
最小計測ﾋﾟｯﾁ	1mm/20m	1mm/20m	0.009°
ﾋﾞｰﾑ広がり角	―	―	0.16mrad(0.009°)
ﾚｰｻﾞｰ波長	1535nm	1535nm	785nm
最長測定距離	500m	330m	76m
最短測定距離	―	―	0.6m
測定点数	30,000点/秒	3,000点/秒	976,000点/秒
ｽｷｬﾝ範囲(水平)	360°	360°	360°
ｽｷｬﾝ範囲(鉛直)	70°	70°	320°
ｽｷｬﾅ重量	16.0kg	16.0kg	14.0kg

３．３　実証実験と結果

本研究では、合計で５回の実証実験を実施した。各々の実験では結果の分析と課題を抽出し、次の実験計画を立てた。

表３　第１回実証実験概要

実施場所	金沢工業大学天池グランド
実 施 日	2010/6/17
実施時間	10:00～14:00
天　候	晴れ
気　温	24 ℃
気　圧	990 hPa
ステップ角	0.05°、0.10° の2種類
スキャナ位置	4箇所
計測対象	器具庫壁面(RC造)　目標点8点
測定距離	20m
使用機種（6台）	Photon120　(FARO)
	ScanStationC10　(Leica)
	GLS-1500　(TOPCON)
	○ GLS-1000　(TOPCON)
	○ GS200　(NikonTrimble)※2台使用
	○ ILRIS-3D VP　(Optech)
	VZ-400　(RIEGL)
	LMS-Z420i　(RIEGL)
	○ LMS-Z620　(RIEGL)

○は使用した機種

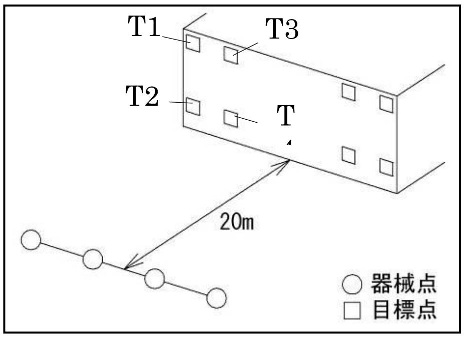


図１　第１回実証実験略図

写真１　計測対象物(器具庫　RC 造)

３．３．１　第1回実証実験（屋外）概要と結果

(1)第１回実証実験の目的

表１の各種条件１の項目に基づき、**写真１**に示す器具庫（ＲＣ造)の壁面が垂直であるという前提で目標点を設定し、その大きさ及び傾斜を検証して各機種の特性を把握するためデータを取得した。

（写真 1、表 3、図 1、図 2 参照)

① 基準面の点群データの取得

② ８目標点の位置関係

(2)実験方法

写真１のように器具庫壁面を基準面とし、左右に４点の目標点を設定して、**図１**のように基準面から約

20mの箇所に等間隔にて 4 台分の器械点を設置して、全点で各目標点の計測を行った。また、計測の作業手順は各機種独自によるものとした。

(3) 実験結果

各目標点の中心は、30cm 四方を抽出した点群の平均値を算出した。また、左上の点を基準に垂直方向の傾き及び各 4 点間の距離を算出して精度比較を行った。なお、特に顕著な値を示した左側の実験結果について**表 4** に示す。垂直差では 10mm 以内、水平距離においては 30mm 以内という結果が得られた。ただし、LMS-Z620 の傾斜量は 70 ㎜と大きな値を示しており、目標点の反射率の違いや計測可能距離等器械特性によるものなのか、点群データの平均値の算出方法だけでは説明できない現象が生じたこと、更に、計測条件として太陽の天頂角による反射率の違いや、取得密度の違いによるデータ抽出の統一性が確保されていないこと等、次回の実証実験の課題とした。

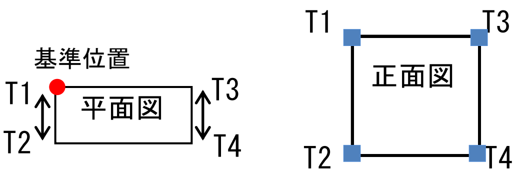


図 2　目標点概略図

表 4　各機種の誤差分布一覧表

	垂直方向の較差		(mm)	水平方向の較差		(mm)
機種名	T1～T2	T3～T4	差	T1～T3	T2～T4	差
LMS-Z620	48	-22	70	1,227	1,245	18
ILRIS-3DVP	43	39	4	1,214	1,234	20
GS200N	21	21	0	1,166	1,193	27
GS200A	20	21	1	1,234	1,253	19
GLS-1000	18	14	4	1,199	1,208	9

３．３．２　第2回実証実験（屋内）概要と結果

(1) 第 2 回実証実験の目的

第 1 回の実験結果を分析する中で、次の懸案事項が浮上した。

①太陽光線が取得データの誤差要因となる可能性がある

②精度の検証には比較基準となる位置情報が必要である

そこで、第 2 回実証実験は上記 2 点に着目し、器械点と目標点の位置関係(真値)を把握したうえで、太陽光線の影響を除外する目的で屋内（金沢工業大学多目的ホール）にて計測を行い、測角測距の精度検証を試みた（**写真 2**、**表 5**、**図 3** 参照)。

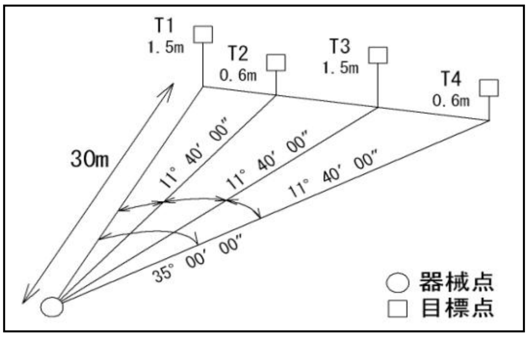


図 3　第 2 回実証実験略図

表 5　第 2 回実証実験概要

実施場所	金沢工業大学内多目的ホール
実 施 日	2011/2/15～16
実施時間	10:00～14:30（両日）
天　候	晴れ
気　温	6～7 ℃
気　圧	1,022～1,024 hPa
ステップ角	0.004°～0.036°の範囲
スキャナ位置	1箇所（固定）
計測対象	反射ターゲット板（4点）
測定距離	30m
照度：333～610 Lx，湿度：42.7～52.9 %	
使用機種（7台）	○ Photon120　(FARO)
	ScanStationC10　(Leica)
	○ GLS-1500　(TOPCON)
	GLS-1000　(TOPCON)
	○ GS200　(NikonTrimble)※2台使用
	○ ILRIS-3D VP　(Optech)
	VZ-400　(RIEGL)
	○ LMS-Z420i　(RIEGL)
	○ LMS-Z620　(RIEGL)

○は使用した機種

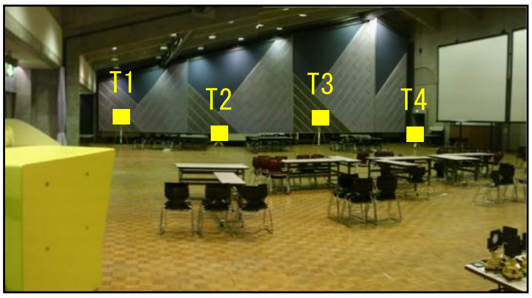


写真 2　多目的ホール

(2)実験方法

実施場所が屋内であるため広大な空間が確保できず、計測距離は 30m に留まった。また、目標点の設置範囲は、計測範囲の制限が最小(水平角 40°)の機種に合わせ、35°以内とした(図 3)。

器械点に測量用整準台とアタッチメントを使用することで、理論上はスキャナ本体の整準及び求心が可能となるため、位置関係の分かっている反射板を計測し、真値と計測値の比較を行った。

なお、計測値は反射板を取得した点群の平均値とした。

(3)実験結果

器械点から各目標点までの水平距離について、真値との比較を行った結果、ILRIS-3D VP を除く全機種において 10mm 以下の誤差であった(図 4)。また、目標点間の挟角を求め、測角精度を検証した結果、最大 31″、最小 1″の誤差であった(図 5)。

ILRIS-3D VP の水平距離誤差(最大-68mm)については、

機械軸のズレではなくレーザ光(反射強度)が強すぎたことが誤差要因として考えられる。計測距離が近いこと及び目標点の光沢素材が機種に適した計測条件ではなかった可能性があるため、今後計測距離や素材を変えて実験を行うことで、各機種の適正条件を確認・把握することが課題である。その他の機種については、気象の影響を受けない同一条件下において、30m 地点での測距精度がほぼ同等となる結果が得られた。

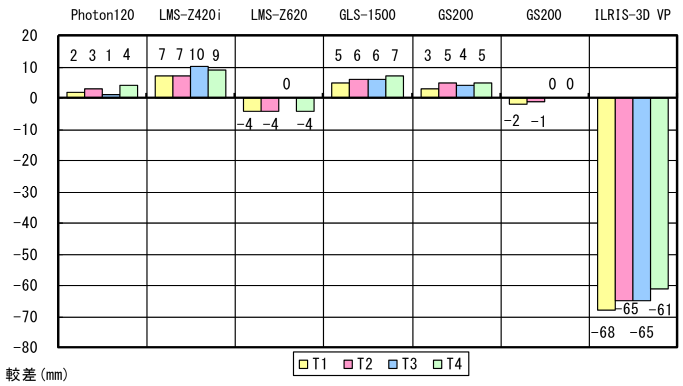


図 4　水平距離の誤差分布(機種別)

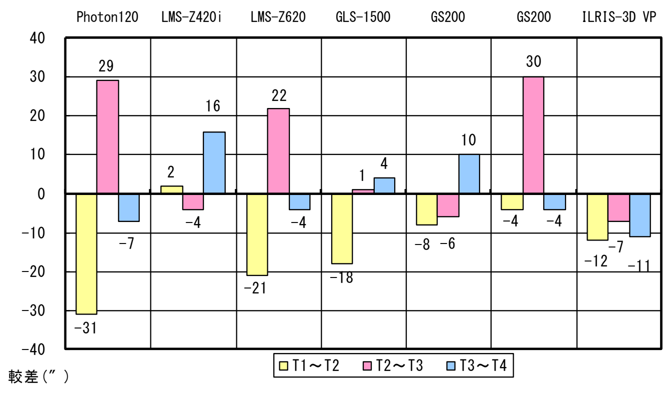


図 5　挟角の誤差分布(機種別)

３．３．３　第3回実証実験（屋外）概要と結果

(1) 第 3 回実証実験の目的

第 2 回実証実験の課題から第 3 回実証実験の目的を次の 2 点とした。

①距離と計測精度の関係の調査

②回転軸の歪みや求心誤差の発生状況を把握

第 2 回実証実験と同様に器械点と目標点の関係を把握した上で検証を行った。(**写真 4、表 6、図 6** 参照)

表 6　第 3 回実証実験概要

実施場所	金沢工業大学天池グラウンド
実 施 日	2011/6/19～20
実施時間	10:00～16:00（両日）
天　候	晴れ
気　温	28 ℃
気　圧	1,025 hPa
ステップ角	0.05°、0.10° の2種類
スキャナ位置	1箇所（固定）
計測対象	反射ターゲット板（20点）
測定距離	30m、60m、100m
使用機種（8台）	Photon120　(FARO)
	○ ScanStationC10　(Leica)
	GLS-1500　(TOPCON)
	○ GLS-1000　(TOPCON)
	○ GS200　(NikonTrimble)※2台使用
	○ ILRIS-3D VP　(Optech)
	○ VZ-400　(RIEGL)
	○ LMS-Z420i　(RIEGL)
	○ LMS-Z620　(RIEGL)

○は使用した機種

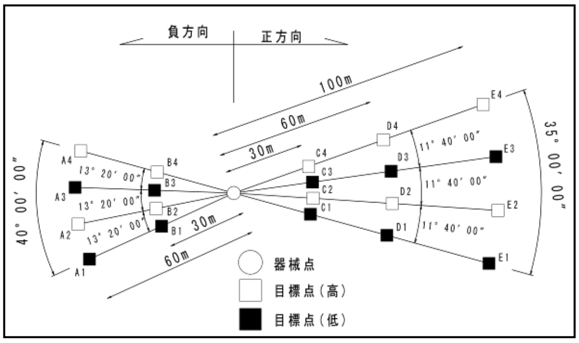


図 6　第 3 回実証実験略図

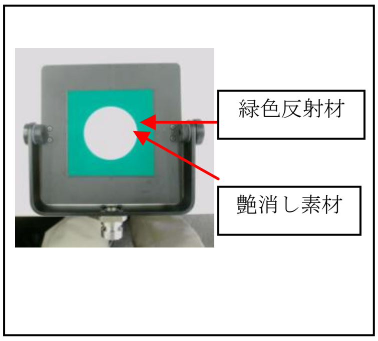


写真 3　反射板

写真 4　実験状況

(2) 検証方法

最初に、目標点までの距離を**図 6** の様に 30m・60m・100m の 3 パターンとしてこの方向を正方向とし、正方向と相対する方向の 30m・60m 地点に設置した目標点を負方向とした。設置範囲は、全ての機種で計測できるよう 40° 以内とした。なお、ILRIS-3D VP は水平方向の回転機構が標準装備ではないため、負方向の計測は行っていない。

また、計測値の算出方法は第 2 回と同様に反射板を計測した点群の平均値としたが、反射板は全機種で同一の形状・素材のものを使用した(**写真 3**)。これは、計測条件を同一にするためである。

(3) 実験結果

１）水平距離

真値に対する各機種の計測誤差と計測点数を**図７**に示す。

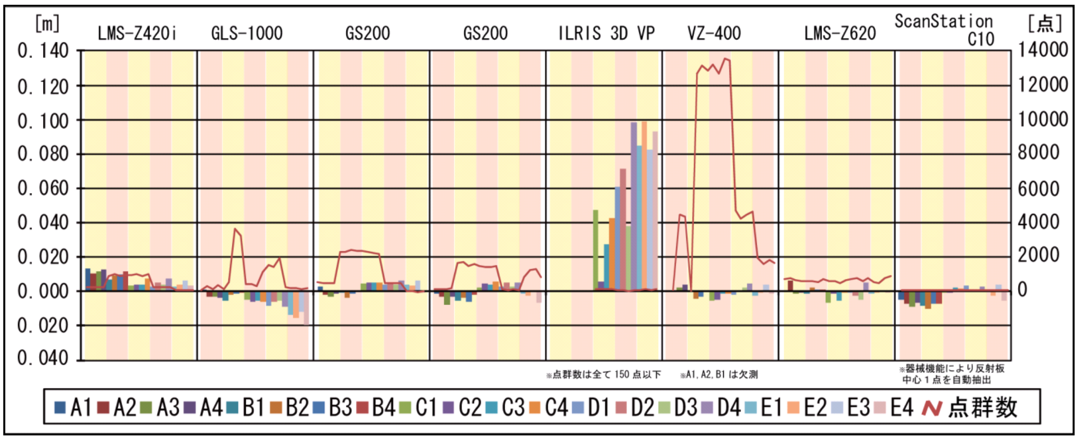


図７　水平距離の誤差分布と計測点数（機種別）

図７から、器械点から各目標点までの水平距離は誤差分布が大きくプラス誤差となっている ILRIS-3D VP を除いて 100m 離れても 19mm 以下の誤差となった。第２回検証では 30m 先で 10mm 以下の誤差に収まっていたが、第３回においても 30m 先では LMS-Z420i で最大 12mm の誤差が発生しているものの概ね 10mm 程度の誤差に収まっていると言える。計測距離と距離精度の相関関係に着目したところ、GLS-1000 及び ILRIS-3D VP の２機種は距離が長くなると誤差が大きくなる傾向が見られた。また、今回の実験では測定距離を 100m まで延長したものの、ILRIS-3D VP における真値との較差は第２回実証実験と同様に多機種に比べて大きくなる結果となった。

実験結果から誤差の分布傾向は、以下の通りである。

① 計測値の多くが真値よりも長く計測されている機種…LMS-Z420i
② 計測値の多くが真値よりも短く計測されている機種…GLS-1000
③ 計測値が真値に比べ正方向で長く計測され、負方向で短く計測されている機種…GS200A,GS200N
④ 計測値が真値に比べ正方向で短く計測され、負方向で長く計測されている機種…ScanStationC10
⑤ 計測値の誤差分布に傾向が見られない機種…VZ-400,LMS-Z620
⑥ 計測値の全てが真値より長く計測され、誤差の値が大きかった機種…ILRIS-3D VP

地上型 LP の多くは、整準装置が装備されていないものが多いため、求心済みの整準盤にアタッチメントを取り付けた LP を設置する方法で求心を行った(**写真５**)。これらの機種の一部は傾斜補正に対応していないため気泡管のみでの整準となったことから、求心誤差が発生することが考えられる。今回の実証実験により、③④の誤差が生じている機種は、求心誤差が発生している可能性が高いと言える。

また**図７**より、計測点までの距離と計測精度及び計測点数の間には明確な関係性は見られなかった。

写真５　求心装置

２）角度（挟角）

真値に対する目標点間の角度(挟角)を図 8 に示す。

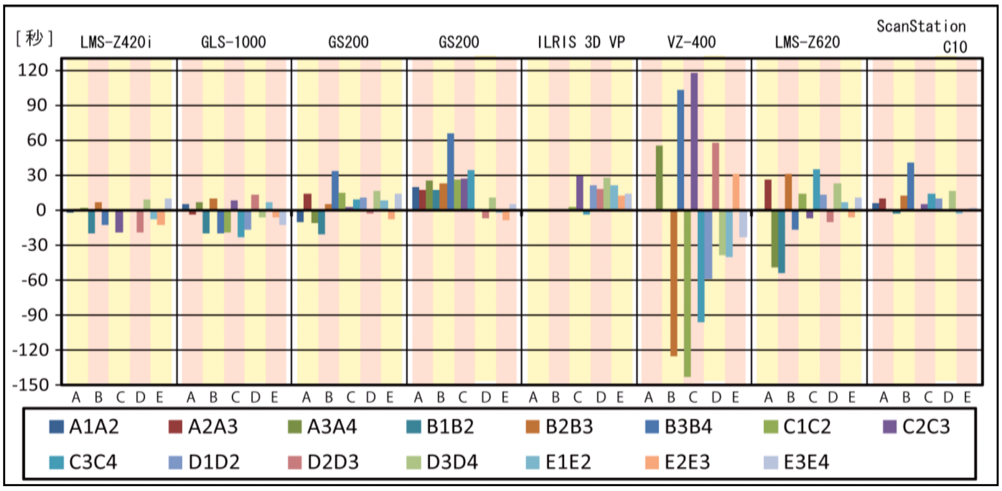


図８　真値に対する目標点間の角度(挟角)

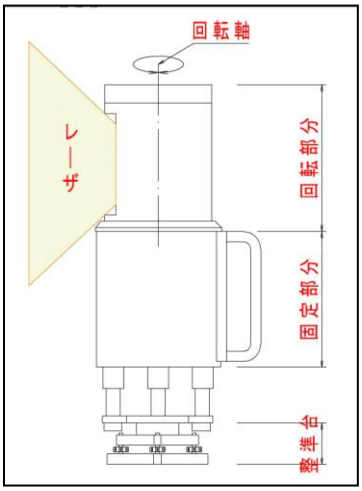


図 9　回転機構の例

第 2 回検証では、30m の距離で挟角の誤差が 31”以内であったが、第 3 回では 30”を超える誤差が散見される機種が複数見られる。しかし、距離の遠近によって挟角の誤差が増減する傾向は見られない。

地上型 LP は、図 9 の様な回転機構を装備することにより一回の据付で広範囲の計測を行うことを可能としている。そのため、回転軸に歪みがあると測角及び測距に影響を与えてしまうことは十分に考えられるが、本検証ではその影響を確認するには至らなかった。

３）課題

第 3 回検証では、4 つの反射板を距離毎に設置し直して検証を行ったため、反射面の法線が設置毎に変わってしまい、レーザの入射角が機種毎に変化したことが誤差発生の要因となった可能性がある。また、反射板の色も一般的に光が反射しやすいとされる白色を採用したが、素材の色が計測値に影響を与える可能性もある。以上のことから、レーザの入射角や色と計測精度との相関関係を把握することが課題として挙げられる。また、計測精度と計測点数の関係についても明確にし、反射板計測の正確性を評価する必要がある。

３．３．４　第4回実証実験（屋外）概要と結果

(1) 第 4 回実証実験の目的

第 3 回実証実験の課題から、地上型 LP から計測対象物までの距離、入射角、色調等の違いによる取得データへの影響を検証した。

（写真 6、表 7、図 10 参照）

写真 6　実験状況

表 7　第 4 回実証実験概要

実施場所	富山県庄川河川敷地	
実 施 日	2011/11/9	
実施時間	10:00～16:00	
天　候	晴れ	
気　温	18 ℃	
気　圧	1,025 hPa	
ステップ角	0.05°、0.10° の2種類	
スキャナ位置	1箇所（固定）	
計測対象	回転ターゲット板（5箇所） 色調ターゲット板（1箇所）	
測定距離	50m、100m、200m、300m、500m	
使用機種（9台）		Photon120　(FARO)
	○	ScanStationC10　(Leica)
	○	GLS-1500　(TOPCON)
	○	GLS-1000　(TOPCON)
	○	GS200　(NikonTrimble)※2台使用
	○	ILRIS-3D VP　(Optech)
	○	VZ-400　(RIEGL)
	○	LMS-Z420i　(RIEGL)
	○	LMS-Z620　(RIEGL)

○は使用した機種

(2) 実験方法

入射角検証用反射板については、レーザの入射角度が 90°（地上型 LP と正対した状態）、60°、30°になるよう反射板の角度を変化させてその都度計測した。反射板には 60cm 四方の白色ボード紙を使用し、1m 四方のガラス板中央部に貼り付けることで、ガラス外枠や担架部などが点群データとして取得されたとしても後に 60cm 四方の反射板の取得データのみを抽出し易くなると考えた。色調検証用反射板については入射角度 90°で固定し、50cm 四方のボード紙 9 枚（White、Red、Green、Blue、Cyan、Magenta、Yellow、Gray、Black の 9 色）を張り付け計測した。

なお、スキャナ発光部の高さは全機種統一し、各反射板の中心部の高さもスキャナ発光部と水平になるよう、標高差を加味して設置した。

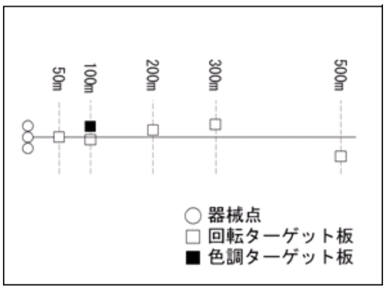


図 10　第 4 回実証実験略図

(3) 実験結果

①点群取得率

入射角検証用反射板を 90°の状態にした際の取得点群数を基準値（100%）とし、反射板を 60°、30°と変化させた際に取得した点群数を基準値に対する割合で示した推移値を**図 11** に示す。

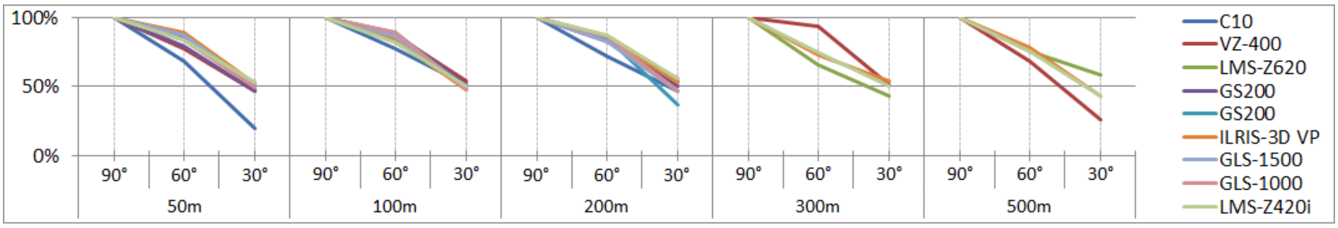


図 11　点群取得率

9 台中 5 台については、300m 以上の点群データの取得率が他の傾斜角に比較して低かったため、200m までのデータを採用した。入射角が 30°の状態は、90°の状態に対して約 50%の点群取得率になる傾向が見られた。但し、入射角度を変化させることによって、正面から見た反射板の大きさ（投影面積）が変わるため、取得点群数の減少は妥当と考える。

②水平距離及び TIN 表面積

取得データの座標平均値から算出した地上型 LP・反射板間の水平距離について、反射板が 90°の状態を基準値（0.000m）とし、角度を変化させた際の水平距離の誤差を**図 12** に示す。さらに、平滑な面状の反射板を計測した際にも生じる厚み（点群の奥行き方向のバラツキ）を考慮し、レーザ入射角によって平坦性がどのように変化するのかを検証するため、点群データを TIN モデルにし表面積の算出をした。機種によっては反射板外周部の点群データにバラツキが多く見られ TIN 表面積の比較検証が困難であったため、60cm 四方の反射板が 50cm 四方になるよう外周部を一律に除去した（**図 13**）。その後に TIN 表面積を算出した結果を**図 14** に示す。なお、外周部除去後も水平距離に関しては大きな変化は見られなかった。

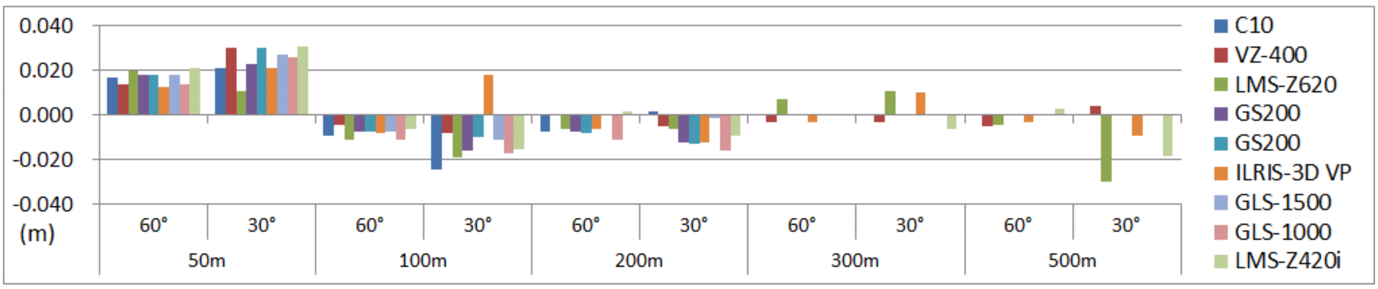


図 12　水平距離の誤差分布

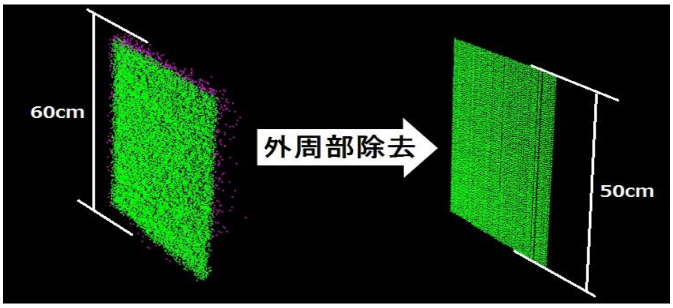


図 13　外周部の除去

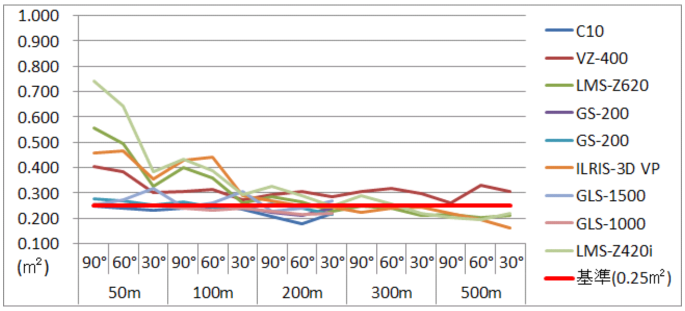


図 14　TIN 表面（外周部除去後）

水平距離及び TIN 表面積については、50m・100m 等の近距離において値が大きく振れる傾向が見られた。特に 9 台中 4 台については、反射板外周部除去後も 50m・100m の TIN 表面積が基準（50cm×50cm＝0.25 ㎡）より大きいことから、長距離計測が可能な機種は近距離において点群データの平坦性・均一性が低下する傾向が見られた。計測対象物にレーザが反射する際に採用している First pulse、Last pulse の特徴、及びレーザスポット径の機種特性も今後考慮する必要があるが、水平距離及び TIN 表面積がレーザ入射角と距離によって変化することが散見されたため、精密さを要する計測においては留意する必要があると考える。

③色調

色調検証用反射板の取得データに関して、White を基準（100%）とした場合に、色毎の点群数の基準値に対する割合を図 15 に示す。また、その際の反射強度（Intensity）について、White を基準とした場合の色毎の割合を図 16 に示す。

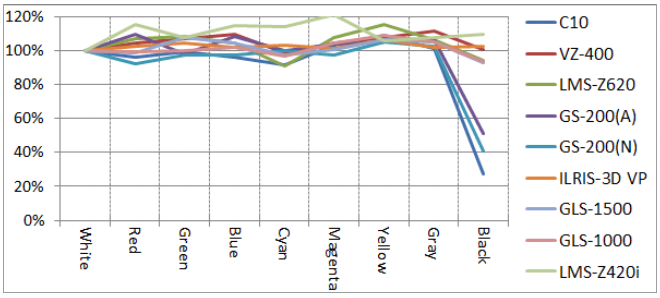


図 15　色調点群取得率

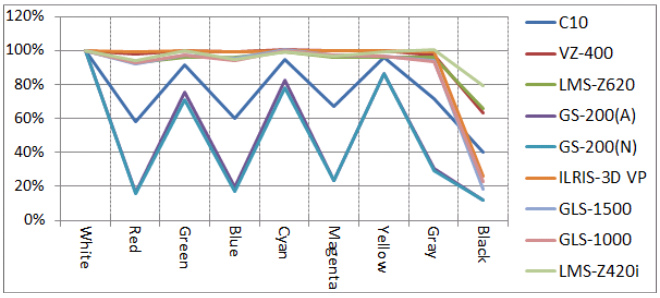


図 16　色調反射強度

計測対象物の色調の違いによる取得データの傾向については、レーザ光の波長が 532nm の機種（GS200 及び C10）において Black 色の点群取得率が低くなり、さらに Red、Blue、Magenta、Gray、Black 色の反射強度が低くなる傾向が見られた。他の機種（レーザ波長＝785～1550nm）については Black 色の反射強度のみ低くなる傾向が見られた。使用する機種の特性を把握しておくことで、計測の事前計画策定、及び後処理の際に計測対象物の明度・輝度等を加味した点群データの選定等が可能になると考えられる。

④ILRIS-3D　VP の検証結果について

第 2 回及び第 3 回実証実験において ILRIS-3D　VP の測距誤差が大きかったが、今回の実験では他機種と同等の結果が得られた。そこでこれまでの実験結果を見直し、今回の実験には該当せず第 2 回、第 3 回の実験に該当する共通項目に着目すると、目標点として設置した反射板が反射率の高い素材であったことが挙げられる。今回の実験では 50m～500m の距離において誤差 20 ㎜以内の距離精度が得られていることから、ILRIS-3D　VP は、計測対象物が反射率の非常に高い特別な素材（ミラーや反射シート等）でなく、一般的なごく普通の対象物であれば他機種と遜色の無い計測が可能であることが、機種別の特性として明らかになった。

従って、ILRIS-3DVP における第 2 回、第 3 回の検証データは、適正な数値でないと考えられる。

３．３．５　第5回実証実験（屋外）概要と結果

(1) 第 5 回実証実験の目的

第 4 回実証実験の課題から、材質による点群取得率、反射強度、入射角、距離等の違いによる取得データへの影響を検証した。
（写真 7、表 8、図 17 参照）

表 8　第 5 回実証実験概要

実施場所	富山県庄川河川敷地	
実 施 日	2012/8/11	
実施時間	10:00～16:00	
天　候	晴れ	
気　温	32 ℃	
気　圧	1,020 hPa	
ステップ角	0.05°、0.10° の2種類	
スキャナ位置	1箇所（固定）	
計測対象	回転ターゲット板（5箇所） 色調ターゲット板（1箇所）	
測定距離	50m、100m、200m、300m、500m	
使用機種（8台）		Photon120　(FARO)
	○	ScanStationC10　(Leica)
	○	GLS-1500　(TOPCON)
		GLS-1000　(TOPCON)
	○	GS200　(NikonTrimble)※2台使用
	○	ILRIS-3D VP　(Optech)
	○	VZ-400　(RIGEL)
	○	LMS-Z420i　(RIGEL)
	○	LMS-Z620　(RIGEL)

○は使用した機種

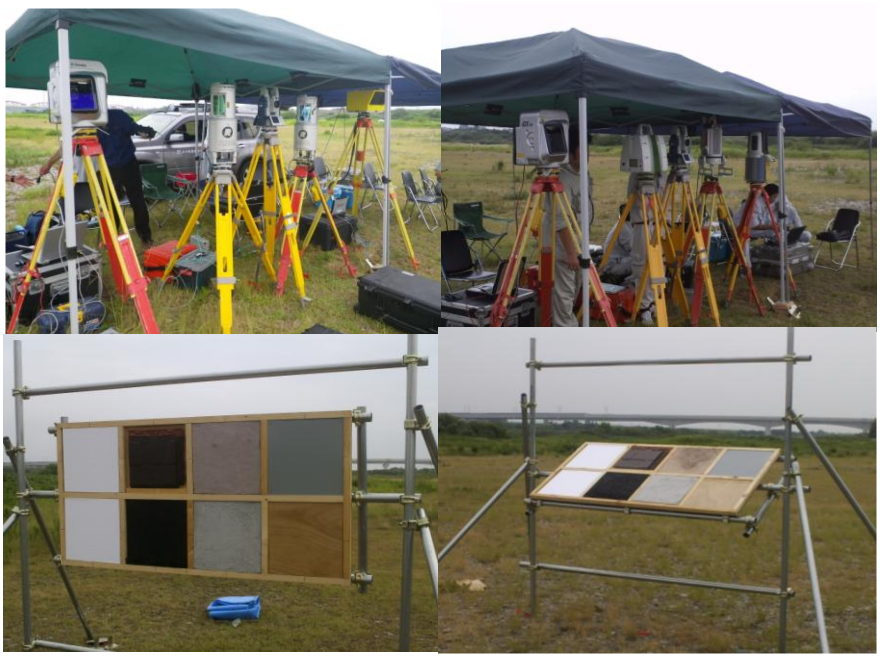


写真７　実験状況

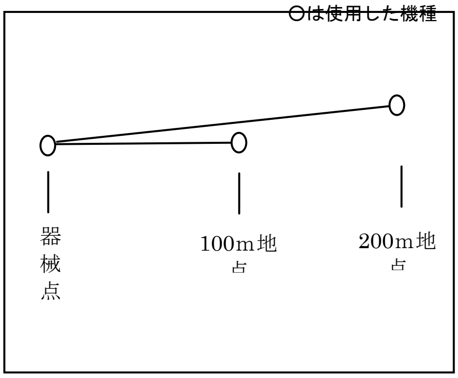


図 17　第 5 回実証実験略図

(2) 実験方法

第 4 回の実験で使用した検証用反射板を活用して、8 枠（40 cm×40 cm）に白紙(上下)、瓦、土、スチール、アスファルト、コンクリート、木材と張り付けてレーザの入射角が 90°、60°、30° になるよう反射板の角度を変化させてその都度計測した。また、計測対象距離については、100m と 200m に設置して各々観測した。

(3) 実験結果

①材質別距離別取得率

入射角検証用反射板を 90° の状態にした際の取得点群数を基準値（100%）とし、反射板 60°、30° と変化させた際の取得率を**図 18～図 21** に示す。取得率は、距離にあまり影響なく 60° では約 80%、30° では 50%という結果であり、材質ではややスチールと瓦、アスファルトと木の取得率にバラツキ見られた。距離別では、機種により若干の差はあるものの概ね 80%から 50%の取得率があった。但し、材質では、スチール、瓦、土に差異がみられた。

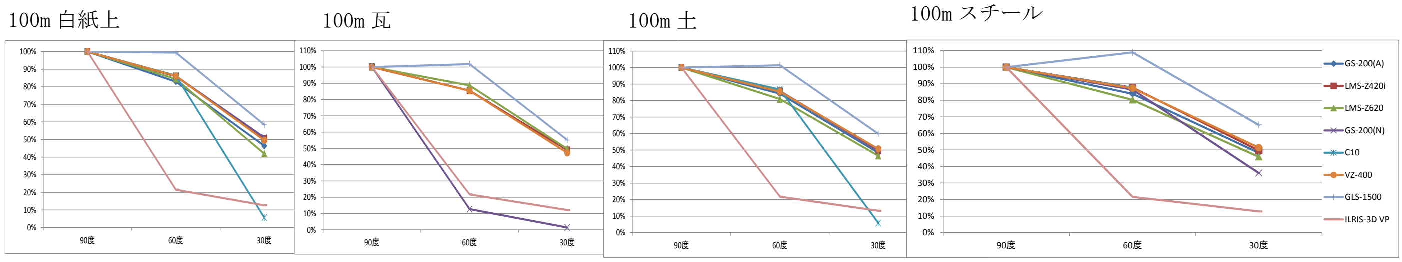


図 18　材質別取得率　その１

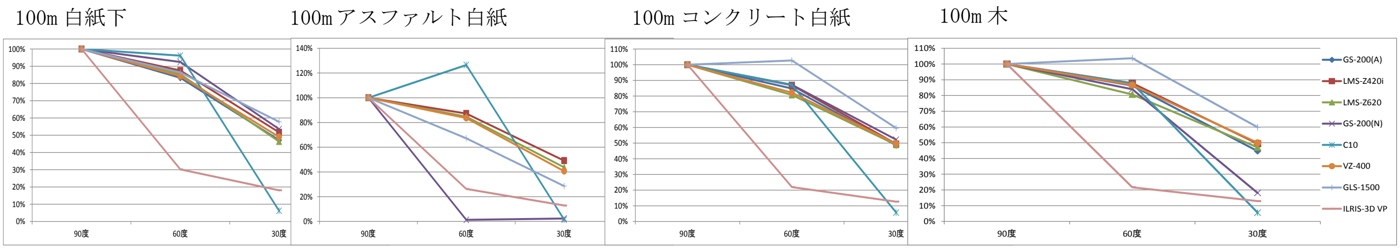


図 19　材質別取得率　その２

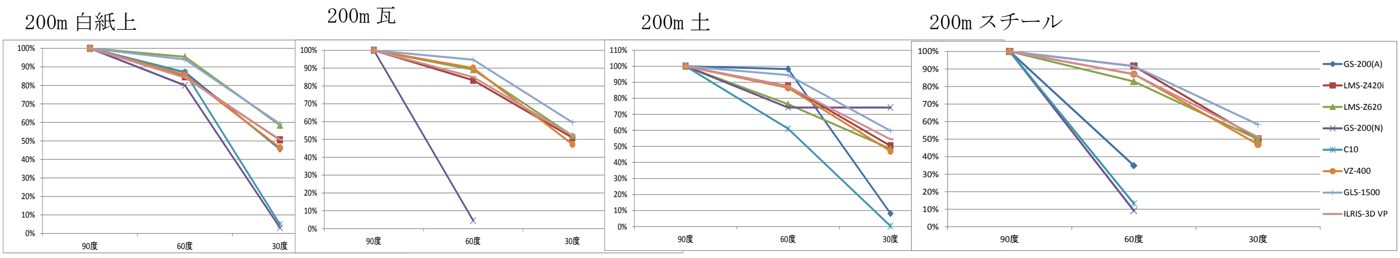


図 20　材質別取得率　その３

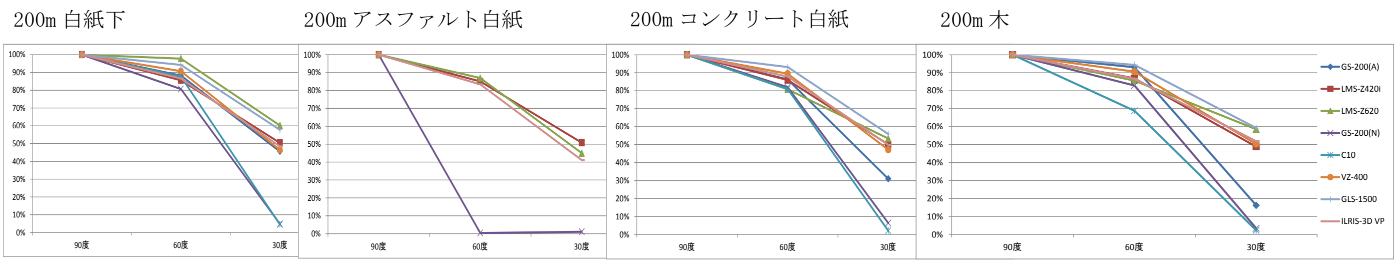


図 21　材質別取得率　その４

②反射強度

反射強度においては、**図 22～図 25**　に示すように、距離による影響より材質によるバラツキが大きくアスファルト、スチールが 20%から 30%の取得率となる機種が見られ、機種別の性能の確認が必要であることがわかる。

100m 白紙上　100m 瓦　100m 土　100m スチール

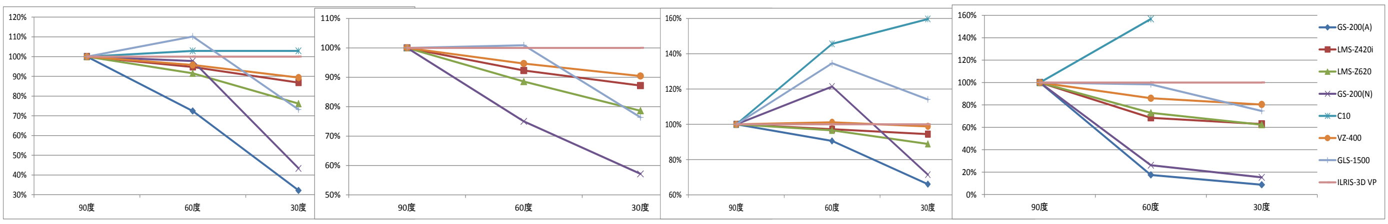


図 22　材質別反射強度　その１

100m 白紙上　100m 瓦　100m 土　100m スチール

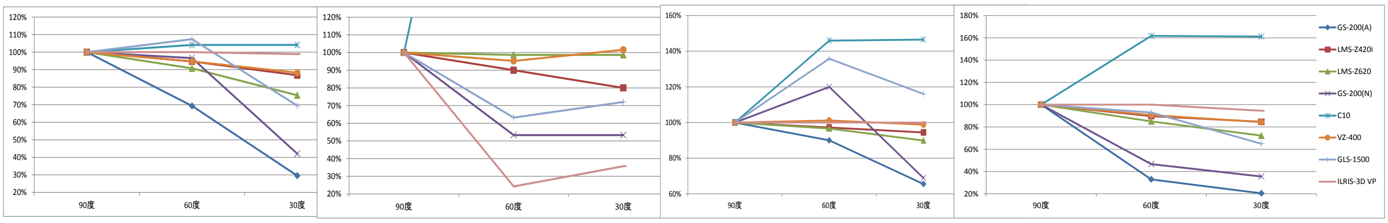


図 23　材質別反射強度　その２

100m 白紙下　100m アスファルト白紙　100m コンクリート白紙　100m 木

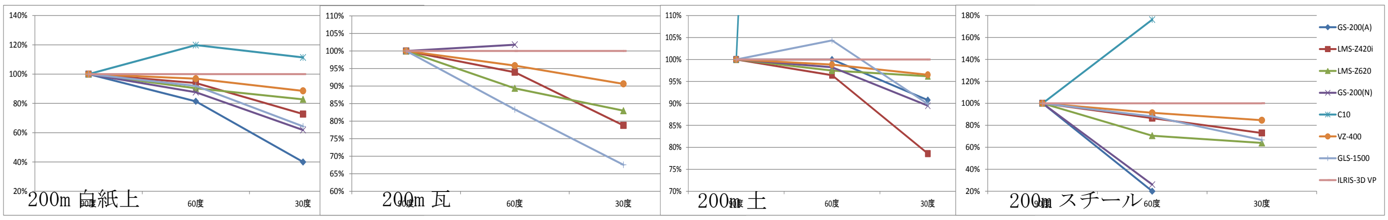


図 24　材質別反射強度　その３

200m 白紙下　200m アスファルト白紙　200m コンクリート白紙　200m 木

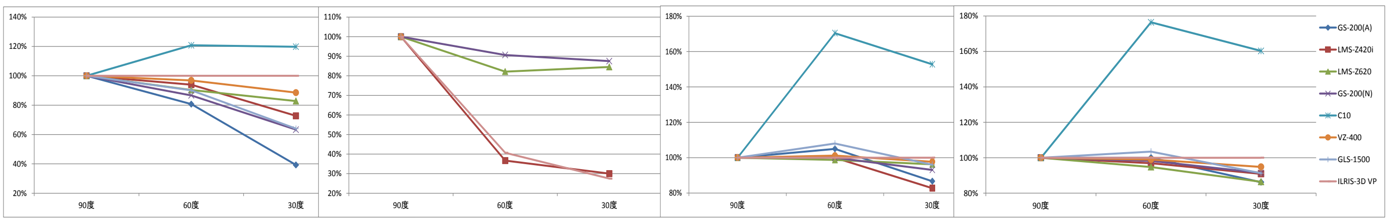


図 25　材質別反射強度　その４

③TIN面積比較

取得した点群データから、TIN の表面積を比較したものを**図 26～図 29** に示す。機種により若干の差はあるが、概ね 100%から 80%の範囲にある。材質ではスチールとアスファルトに差異が見られた。これは、距離及び反射強度並びに機種性能に留意する必要があることを示しているものである。

100m 白紙上　100m 瓦　100m 土　100m スチール

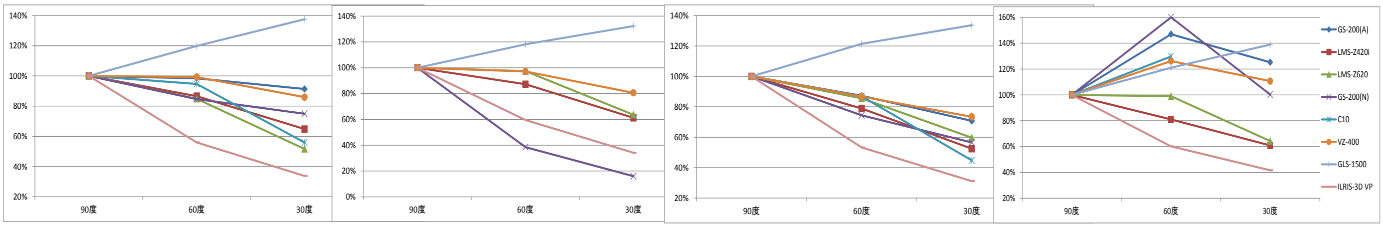


図 26　材質別 TIN 表面積その１

100m 白紙下　100m アスファルト白紙　100m コンクリート白紙　100m 木

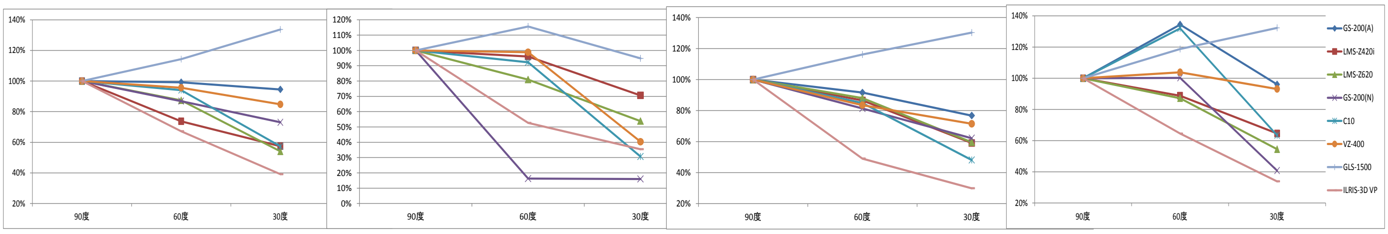


図 27　材質別 TIN 表面積その２

200m 白紙上　200m 瓦　200m 土　200m スチール

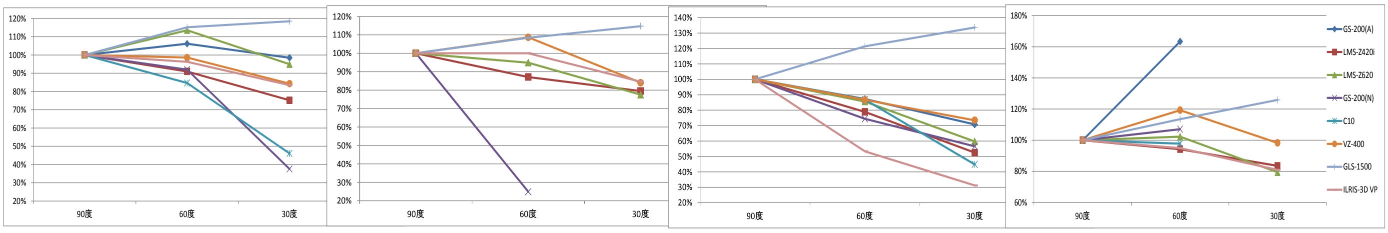


図 28　材質別 TIN 表面積その３

200m 白紙下　200m アスファルト白紙　200m コンクリート白紙　200m 木

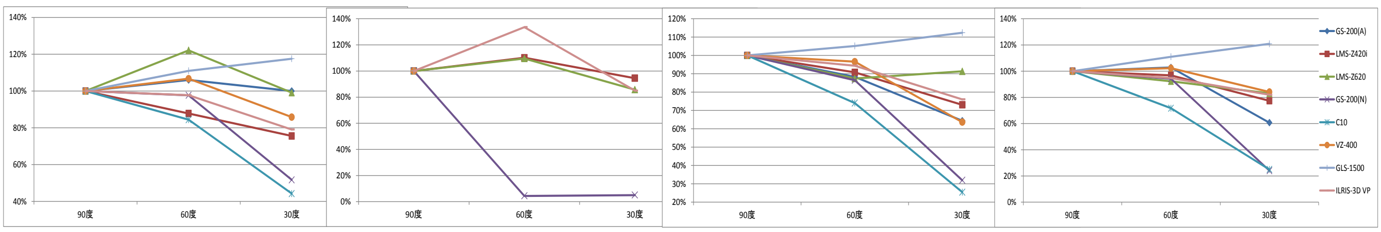


図 29　材質別 TIN 表面積その４

④標準偏差

各材質の表面の点群について、取得データの厚みの標準偏差を算出した。**図30～図31**に示す。機種により若干の差は見られるが、概ね 15mm 以内の範囲にある。但し、材質反射板の角度が 30°、距離が 200m の設定では土、瓦、の標準偏差が大きい傾向が見られた。これは、前述と同じく距離及び反射強度並びに機種性能に留意する必要があることを示しているものである。今回、アスファルトについては、実験途中に剥離したことにより参考程度している。

100m　厚み標準偏差

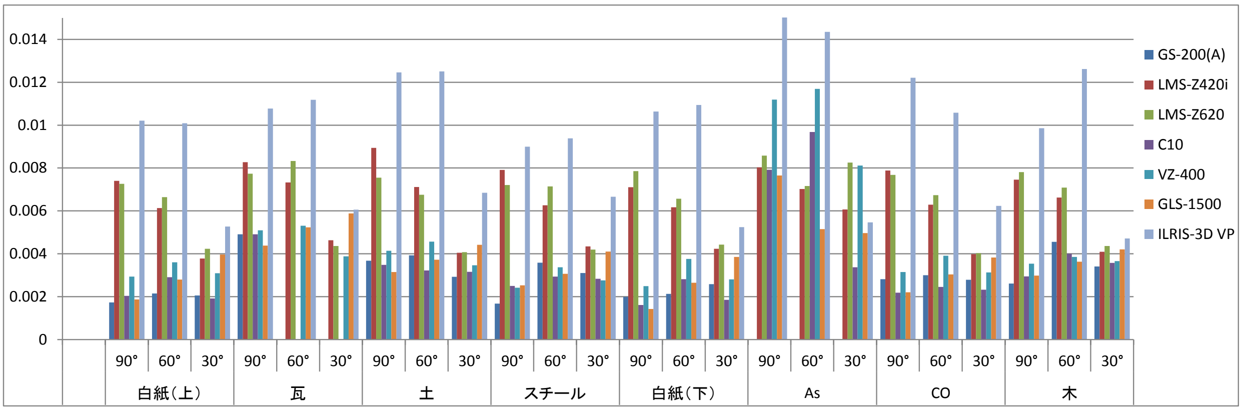


図30　材質別機種別厚みの標準偏差その１

200m　厚み標準偏差

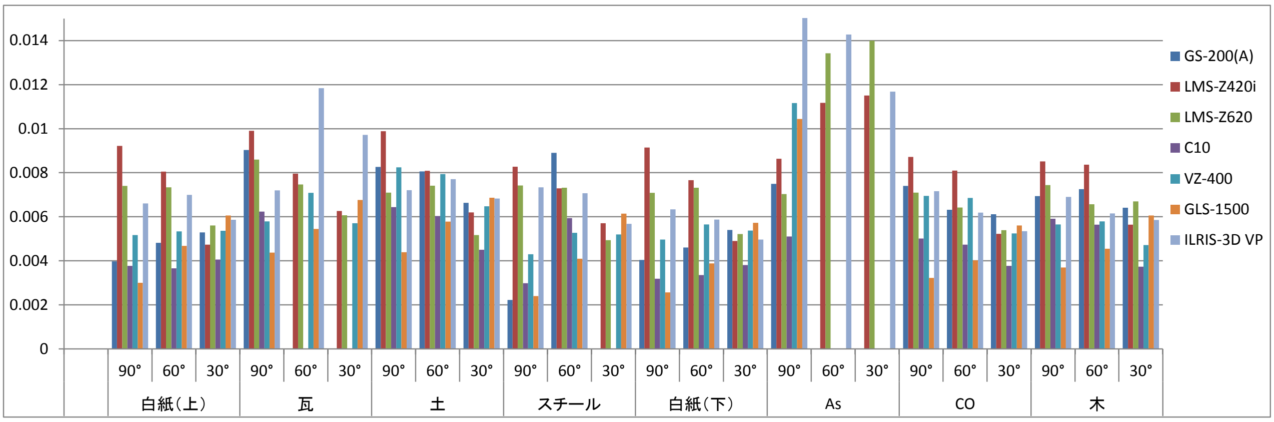


図 31　材質別機種別厚みの標準偏差その２

第４章　結論

これまでに実施した第 1 回から第５回までの結果から各機種の性能により計測範囲を規定する必要がある。また、精度確保の観点から、距離、角度、点群取得率、色調別反射率、反射強度における基準値(制限値)の設定や作業手順の標準化が必要である。現時点で明確になった点は、以下の 1～6 の通りである。

1. 距離精度においては、計測可能距離の区分を定義する必要がある。区分としては、近距離(100m 以下)と中距離(300m まで)と遠距離(300m 以上)と想定される。但し、距離区分及び入射角度(30°以上)に拘わらず概ね計測誤差が 30mm 以内である(図 4 及び図 12 より)。

2. 角度においての誤差は、概ね 30″以内である(図 5 及び図 8 より)。

3. 角度が小さくなるほど点群取得率が低くなる（30°で 50%）が、30°以上の入射角があれば、概ね 30mm 以内の距離精度が確保できる。(図 11 より)。

4. 色調別反射率においては、Black 以外は概ね 100%の取得率がある(図 15 より)。

5. 反射強度においては、Black 以外で概ね 50%(White を 100%とした場合)の反射強度がある(図 16 より)。

6. 計測フィールドにおいて、対象物までの距離及び材質並びに機種性能に留意して観測計画を立案し、検証を行う必要がある。

以上のことから、今後は実用レベルの重要課題として、入念な観測計画によりデータ取得率の向上を図る方法や計測可能距離区分を明確にすることが挙げられる。そのため、異なる気象条件でのデータの取得、Black に対する反射強度の分析等、実証実験を継続しデータの蓄積を重ねるとともに、各種データの標準偏差の算出と基準値の設定及び作業手順による精度較差等について検討を行う予定である。また、各機種の性能特性の追加実証実験では、レーザ光スポット径の距離別変化のデータ取得を予定している。これは、スポット径の変化が計測データへどのような影響を及ぼしているか把握する必要があると考えているためである。

最後に現時点における「地上型レーザ計測マニュアル案」の概要は以下の 1～4 の通りである。

1. 概　　説：目的と適用範囲、本マニュアル案の構成、「公共測量作業規程の準則」との関係

2. 地形測量：作業計画、計測方法、三次元計測データの作成、数値地形図データファイル作成等

3. 応用測量：路線測量、河川測量等についての作業手順、品質評価等

4. 附　　則：逐条解説、様式（観測手簿、精度管理表）、参考資料（地上型レーザ機器の概要）

今後、これらの実証実験から得られたデータのさらなる分析と精度確保のための作業手順の標準化等について検討を行い、地上型レーザ計測マニュアル案を作成して、計測技術の普及に寄与したいと考える。

謝辞

　実証実験を行ったマニュアルワーキンググループメンバーは以下のとおりである。手弁当で多くの実験に参加していただいたワーキンググループメンバーおよび本実験を支援していただいたメンバー所属会社の関係各位に紙面をお借りして、深甚なる謝意を表します。

(株)アルゴス【葭原英明、池田直人】
金井度量衡(株)【吉田雄一、坂木祐一郎、八幡竜也】
金沢工業大学【鹿田正昭、徳永光晴、下川雄一、福田崇之】
(株)桑原測量社【桑原直樹、高橋大樹】
(株)国土開発センター【江田久嗣、徳田義孝】
(株)上智【金木春男、五十嵐　司】
(株)新日本コンサルタント【米島秀浩、蟹瀬明弘】
玉野総合コンサルタント(株)【内藤智昭】
ナチュラルコンサルタント(株)【村西雅樹、坪川勝彦】
(株)日本海コンサルタント【西本憲正、橋本隆司、山村嘉貴】
阪神高速技術(株)【吉田貴保、岡本亮二、篠田和浩】

　本研究に関連する発表ならびにマニュアルワーキンググループの活動にあたり (社)日本測量協会、関連する機関より、有益なご助言を頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1)国土交通省国土地理院、公共測量作業規程の準則、日本測量協会、2008
2)国土交通省国土地理院、国土地理院時報、No.97、2002
3)Antero Kukko,Sanna Kaasalainen and Paula Litkey,Effect of incidence angle on Laser scanner intensity and surrface data,APPLIED OPTICS Vol.47,No.7/1,March 2008

ON THE RESEARCH OF STANDARDIZATION FOR TERRESTRIAL LASER SCANNER

Shikada,M. [1] Tokunaga.M. [1] Shimokawa.Y. [1] Nishimoto,K. [2]
[1]Kanazawa Institute of Technology [2] Nihonkai Consultant Co, Ltd.

Operation Specifications for Public Surveys which was reformed and enforced in March, 2008 include manual of airborne laser surveying. On the other hand, although terrestrial laser scanner users are increasing by its technical development , the usage rate in a public survey is low because of operation specifications unpublicized.

Spatial information project member of Kanazawa Institute of Technology takes the initiative, and the first meeting of a " Innovation research meeting of terrestrial laser scanner " was held in April, 2009 in order to practice the innovation of the terrestrial laser scanner metrology based on spatial information by industry-university cooperation. Participation member desired to build a manual (standardization) about the terrestrial laser scanner. By seven companies which agree to main purpose, "terrestrial laser manual (proposal) creation task force" was launched, and it started activity from November, 2009. This paper reported the future activity and view obtained in the actual experiment which WG performed, and will be spread standardization of terrestrial laser scanner. There are ten participation companies as of January 2012 ,and including almost all Japanese domestic terrestrial laser scanner. The experimental result from the 1st time to the 5th time showed that it was necessary to specify a measuring range with each type of terrestrial laser scanner. On the view point of accuracy, a setup of a standard value , the standardization of a work procedure in distance, an angle, the acquisition rate of a point clouds, the reflectance of a color and reflection intensity will need in standard manual. Essential point which became clear in the experiment and analysis is as follows.

1. The accuracy of distance needs to define the classification of a measurable distance.
   Classifications will assume as a short distance (100 m or less), middle distance (up to 300 m), and a long distance (300 m or more). In the experiments, error of distance was about less than 30mm.
2. The error of an angle was less than about 30".
3. The range error (90 degrees and 30 degrees) of an incidence angle was less than about 30 mm.
   If there are 30 degree of incidence angles or more, data acquisition was 50% or more.
4. In the reflectance of color tone, there was an acquisition rate of 100% except Black.
5. In reflectance, there was an acquisition rate of about 50% (when White is made into 100%) except Black.

Finally , outline of a "terrestrial laser measurement manual (proposal)" is as follows.

1. Outline:Purpose and range of application, Framework of manual, relationship of operation specifications for public surveys .
2. Topographic survey: Documentation of working plan, method of measurements, preparation of three dimensional data, preparation of digital topographic map data file and others.
3. Engineering survey: Operation method of route surveying and river surveying, quality valuation and others.
4. Supplementary provision: Comments, format(field notebook, management for keeping accuracy table), references(outline of terrestrial laser scanner).

KEYWORDS **:** *Spatial information project, terrestrial laser scanner, operation specifications for public surveys, standardization, terrestrial laser manual*

様式－３－２

研　究　成　果　の　要　約

助成番号	助　成　研　究　名	研 究 者・所 属
第2010-10号	**地上型レーザスキャナーデータ計測の標準化に関する研究**	**鹿田　正昭　金沢工業大学**

近年、地上型レーザプロファイラ(LP)を用いた３次元計測はハード･ソフトの発展から利用分野が拡大されているものの、作業規程がないこともあり公共測量における普及率は低い。

本報告は、公共測量での利用拡大を目指した地上型レーザプロファイラマニュアルの作成を目的に、産学連携によるマニュアル案作成作業部会（ワーキンググループ）を発足し、これまで行った実証実験の分析結果と今後の展望について述べたものである。

本研究の趣旨に賛同しワーキンググループに参加した企業が一堂に集まることにより、国内の建設業界で利用されている大半のレーザプロファイラを用いての実証実験が可能である。そこで、同一条件における計測データの取得を行い各機器の特性を把握し、計測精度や性能の基準設定に取り組むことで標準化に寄与できるものと考えた。

本研究の手順及び研究成果は、以下の通りである。

１．研究手順

① アンケート調査による取り組むべき方向性や課題についての意見募集。
② アンケート結果による取り組むべき課題の抽出
③ 実証実験の方法検討
④ 第１回実証実験
　実証実験場の設定とコンクリート壁の計測による精度検証
⑤ 第２回実証実験
　室内実験場の設定と目標物設定による精度検証
⑥ 第３回実験実証
　屋外実験場の設定と目標物設定による精度検証
⑦ 第４回実験実証
　屋外実験場の設定と目標物設定及び色彩による精度検証
⑧ 第５回実験実証
　屋外実験場の設定と目標物設定及び材質による精度検証
⑨ レーザ径の実験実証
　レーザ径の拡大による影響による精度検証
⑩ 実証実験の分析及び結論
⑪ マニュアル案の作成

現時点における「地上型レーザ計測マニュアル案」の概要は以下の 1～4 の通りである。

1. 概説：目的と適用範囲、本マニュアル案の構成、「公共測量作業規程の準則」との関係
2. 地形測量：作業計画、計測方法、三次元計測データの作成、数値地形図データファイル作成等
3. 応用測量：路線測量、河川測量等についての作業手順、品質評価等
4. 附則：逐条解説、様式（観測手簿、精度管理表)、参考資料（地上型レーザ機器の概要)

２．研究成果

各機種別の特徴とその精度検証並びに標準偏差等の算出を行い、標準化への条件整備項目を抽出できた。

３．研究成果の活用について

標準化による地上型 LP の普及率や汎用性の向上を目指すという目的の新規性は高く、成果を活用して、地上型 LP の作業基準の設定等作業マニュアル案の認定に取組む。その成果は測量業界の底上げにもつながり、LP の普及や作業効率に寄与できるものである。

４．今後の展望

研究成果をさらに精査・分析を行い、作業基準の確度を上げ、マニュアル案の完成及び認定交付を目標とする。