

ALBの安全対策と フットプリントの影響について

平成30年2月27日(火)

15:00～17:00

公益財団法人 日本測量調査技術協会

ALBサブワーキング

報告内容

前回の検討会で課題とされた以下二点について調査(メーカーに問い合わせ得られた情報)

①ALBの安全対策

- ・ALBはクラス3Bや4の強いレーザー光を使用しているが、安全面に問題はないのか
- ・地上の人への影響は無いのか

②ALBのフットプリント径及び精度への影響

- ・ALBのフットプリントはなぜ大きいのか
- ・航空レーザーはフットプリントのどの地点(水平位置)を計測しているか分からない(特にフットプリントの大きなALB)

1. ALBの安全

- 航空レーザ装置はレーザの安全基準に則って製造。
国際規格：国際電気標準会議
【International Electrotechnical Commission】 IEC60825-1
準拠規格：JIS C6802
- この規格の中で規定されるクラス分け条件と、各レーザ機器の性能に応じて、安全クラスが定義※される。

※安全クラスの定義は巻末資料参照

- ALBで使用するレーザクラス
クラス3Bとクラス4

いずれも強いレーザ光であるため、取扱いに注意が必要。

メーカー毎に安全対策、運用ルールを規定

・IEC60825

International Electro technical Commission-Safety of Laser Products(国際電気標準会議)のレーザ機器に関する国際規格で、IEC加盟国における共通の安全基準。

・JIS C6802

国際規格であるIEC 60825-1を翻訳したものであり、「世界的に共通の安全基準」と言えるもの。この規格に準拠している限りは「レーザ光を安全に使用できる」ものとし、レーザの波長や強さ等に応じて求められる安全対策が決められており、その内容から危険表示ラベルに関するまで規定している。

1. ALBの安全

ALBの地上(人・物)に対する安全面

■ Optech社 (回答): 問題ない

- ・レーザーシステムはNOHD(Nominal Ocular Hazard Distance:公称眼障害距離)に基づきアイセーフ値を設定しており、機材は安全離隔高度を常にモニタしながら飛行計測している。
- ・CZMILはアイセーフ高度290mに対し対地高度は400m。(表1参照)
- ・万が一機体が安全離隔高度を下回った場合は自動的にレーザーのシャットダウン機能が働く。(例えば航空機の下に鳥が飛んでいた場合もレーザーは切れる)
- ・更にその機能が働かない場合は運用者がLaser Kill Switch或いは緊急停止ボタンにてレーザーを切ることができる。(図1参照)
- ・航空局の修理改造検査の際に飛行機能試験の一環でアイセーフ機能のテストがある。

Operation is both skin-safe and eye-safe to the naked eye of a ground-based observer, as long as the Optech CZMIL system is flying at least 290 m above ground level (AGL) and scanning, for 400-m operating settings (Table 2). Unmagnified viewing of air operation is very unlikely to cause eye injury when the aircraft is flying at its nominal operating altitude.

Table 2: Minimum laser eye-safe altitude and operating settings (unmagnified conditions only)

Altitude	Beam divergence (1/e ²)	Minimum eye-safe altitude
400 m	7.0 mrad	290 m

表1 アイセーフ距離と最低対地高度



1 - ON/OFF main power button, 2 - Laser key switch (PWR MODE), 3 - Emergency laser shut-off button (kill switch)

図1 パネルの緊急停止ボタン

1. ALBの安全

ALBの地上(人・物)に対する安全面

■ LeicaGeosystems社

(回答): 問題ない

- ・十分な対地高度が維持されている場合、レーザービームが拡散のため1㎡あたりのパワーも低くなる。
- ・裸眼(NOHHD)及び双眼鏡(ENOHHD)に基づき、アイセーフ距離の安全性を考慮している。(表2参照)
- ・400m 未満のリアルタイムレンジが検出されると、レーザー出力を自動的に調整・減少させ、安全な操作が維持できない場合は最後にシステムを自動でオフにする。
- ・運用者がシステムを緊急停止させることができる。(図2参照)

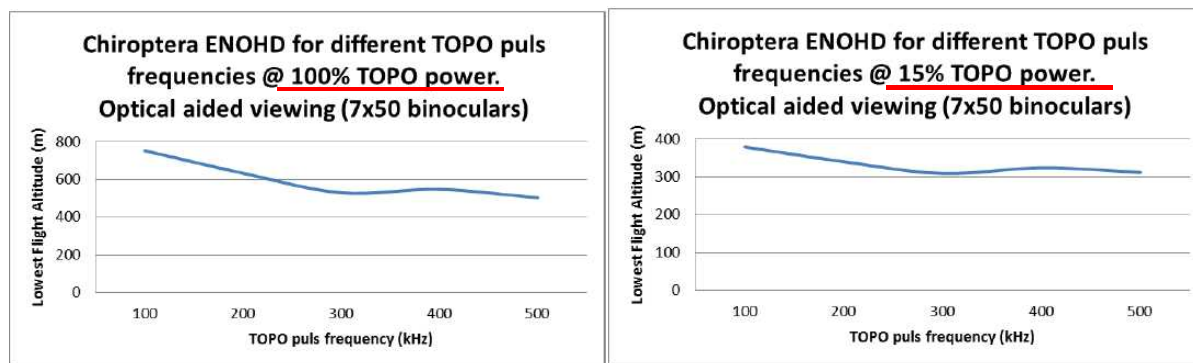


表2 レーザ出力毎の最低対地高度(対ENOHHD)

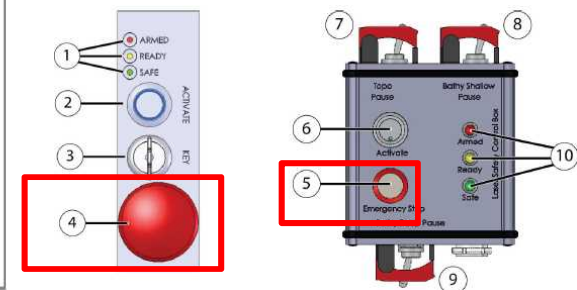


図2 パネルの緊急停止ボタン

1. ALBの安全

ALBの地上(人・物)に対する安全面

■ RiegI社

(回答): 問題ない

- ・ 裸眼(NOHD)及び双眼鏡(ENOHD)※の条件に基づく、アイセーフ距離を、ビーム径に応じて設定(表3参照)。

※用語説明は巻末資料参照

- ・ レーザ自動停止機能が作動する条件

⇒計測中のGNSS/IMU情報と事前登録のDEM(地表面データ)から、機体と地表面の離隔を監視し、アイセーフ距離以下となった場合。

⇒レーザスキャニングミラーの回転速度低下、あるいは停止の場合。

⇒レーザ照射状況をモニターするLEDが故障した場合。

(モニターできなければ安全な照射でも停止させる)

- ・ 運用者がシステムを緊急停止させることができる。(図3参照)

<緊急停止の判断基準>

⇒航空機の地上速度が10m/s(約20knot)以下、レーザ測距離がアイセーフ距離以下 等

beam divergence [mrad]	NOHD [m]	ENOHD [m]
0.7	230	900
0.9	200	760
1.1	175	680
1.3	155	610
1.7	125	510
2.0	100	450

表3 ビーム径に応じたアイセーフ距離



図3 パネルの緊急停止ボタン

1. ALBの安全

- ◆ ALB含む航空レーザ機器の基本的な考え方として、レーザの出力に応じた裸眼(NOH)及び双眼鏡(ENOH)への影響を考慮したアイセーフ距離を設定している。
- ◆ 航空レーザ機材は、レーザ計測時の状況(距離)をモニタしており、仮にアイセーフ距離以下になった場合は、出力を下げたり、自動でレーザ出力を止める機構を搭載している。
- ◆ 運用者がシステムを緊急停止させる機能がついており、フェイルセーフが保たれている。

2. ALBのフットプリント

フットプリントが大きい理由

■ Optech社

・ALBのピークパワーは水中での余分な減衰分を補うため、大きく設計されている。

→例えば、OptechのGalaxy計測機のピークパワーは5-10KWに対しCZMIL測深機は1.4-1.5 MWと約200-300倍である。一方レーザーの安全性を考慮し、巨大なピークパワーで運用するためにはレーザービームの発散を増加させることで地上でのレーザーエネルギーの密度を低減しなければならず、その結果地表面でのフットプリントが大きくなる。

■ LeicaGeosystems社・ Riegl社

- 1) アイセーフは、単位面積あたりのレーザーパワーが十分に小さいことにより維持される必要がある。
- 2) フットプリントが広いほど水面の波や凹凸の影響を受けにくいため、海底地点の精度が向上。

- ◆ 深く計測するにはレーザーパワーが必要だが、地上(水面上)の安全を担保するため、フットプリントを大きくしている。
- ◆ フットプリントが大きいことで、水面の影響を軽減する。

2. ALBのフットプリント

水平位置への影響

■ Optech社

- ・レーザ光は一般的に中心が正規分布で強度が最も高いため、レーザ光はその中心位置を計測している。(但しフットプリント内に強く反射するものがない場合。図4、図5 参照)
- ・フットプリントが大きいCZMILの場合、フットプリントのセンターを中心に70-80%の対象物までを検知できると推測。

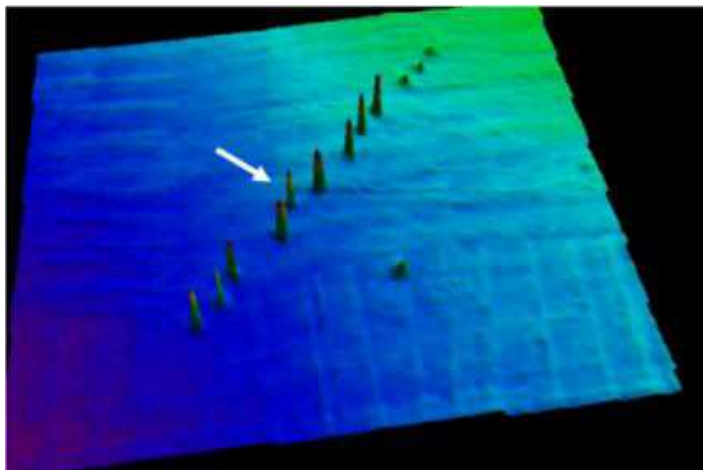


図4 ナローマルチビーム音響測深による計測

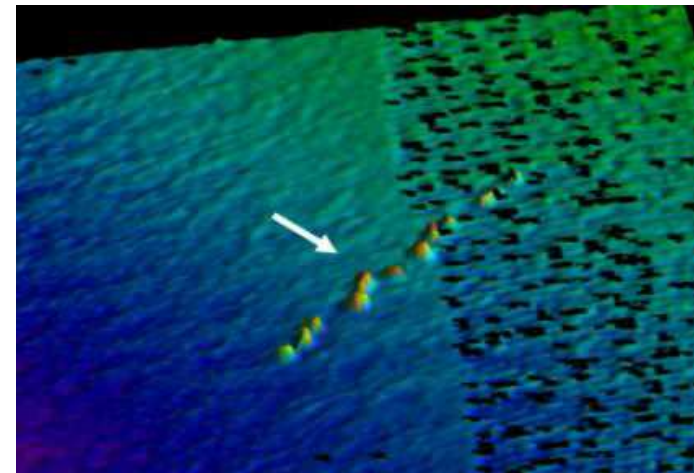


図5 CZMILによる計測

出典: "Meeting the International Hydrographic Organization Requirements for Bottom Feature Detection Using the Coastal Zone Mapping and Imaging Lidar (CZMIL)"

2. ALBのフットプリント

水平位置への影響

■ LeicaGeosystems社

- ・レーザースポットは中央で強くなる。これは、水平の強度分布がガウシアン分布であるため、フットプリントの中心にあるオブジェクトは、記録された波形に寄与する可能性が高い
- ・反射率の高いオブジェクトがフットプリントの中にある場合、水平の誤差を促し、標高にも影響する。これは、今の技術の限界。

2. ALBのフットプリント

水平位置への影響

■ Rieg社

- ・ビーム径はアイセーフ距離を考慮して選択可⇒フットプリントサイズ可変(表5参照)。
- ・ガウスビームとして一般に使用されている「1/e2」定義を使用するため、パワー密度分布は中央部で強くなる。⇒結果、ビーム軸中央付近を測定(図7参照)。
ex)ビーム軸から半ビーム離れた端部では、軸上最大パワー密度の13.5%に低下。

ビーム径 (mrad)	対地高度(m) ENOHD相当	フットプリント サイズ(m)
0.7	900	0.67
0.9	760	0.73
1.1	680	0.80
1.3	610	0.85
1.7	510	0.93
2.0	450	0.96

表5 ENOHDで運用した場合のフットプリントサイズ

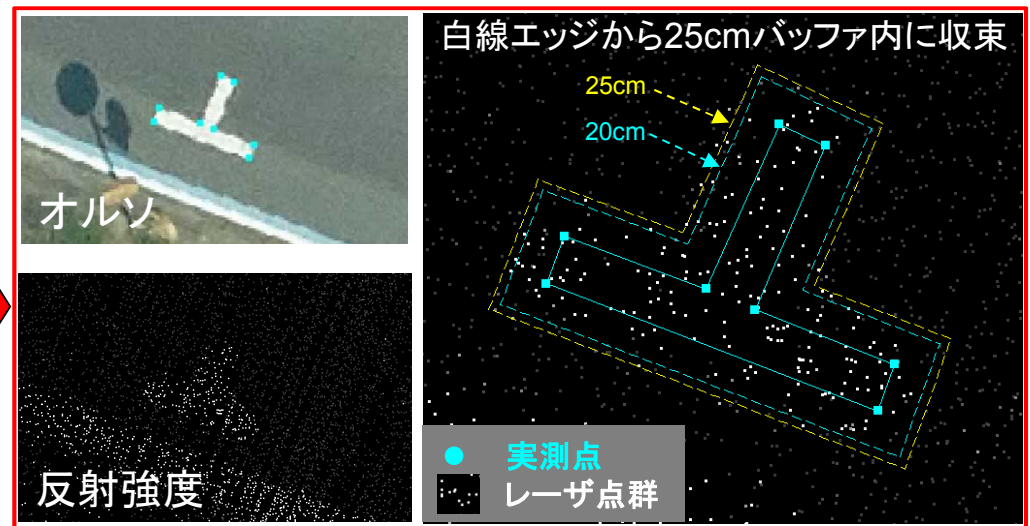
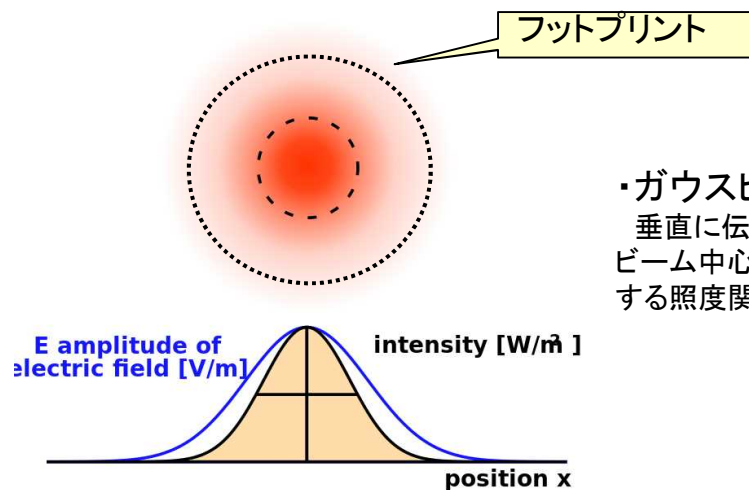


図7 実測点とレーザ点群の比較例(測量会社実績より)

2.ALBのフットプリント

- ◆ レーザ光は中心位置が最も強度が強いため、基本的にはその水平位置と標高を計測している。
- ◆ ただし、フットプリントの中にレーザ光を強く反射する物体がある場合は、影響を受ける。水平位置が移動する可能性がある。
- ◆ 7割以上はフットプリントの中心位置を捉えていると推測。



・ガウスビーム

垂直に伝播するガウスビームの二次元的照度分布を表わす。青線はビーム中心からの距離の関数としての電場強度を表わす。また、黒線は対応する照度関数を表わす。(出典:wikipedia「ガウスビーム」の図を一部加工)

参考. ALB機材の基本仕様比較

メーカー	センサー	レーザセンサ(台)		カメラ		スキャンレート(kHz)		水深度 (セッキ)	フットプリントサイズ ※	スキャンパターン	運用高度 (m)	GNSS (m)	IMU (度)
		近赤外線	グリーン	仕様	解像度(Pixel)	近赤外線	グリーン						
Optech	Aquarius	1		RGB+IR+ビデオ	29M/80M	70	70	1.0	50	円 (20度)	600	H:<0.02 V:<0.05	POS/AV AP50 Roll:0.005 Pitch:0.005 head:0.008
Optech	CZMIL	1		RGB+ハイパースペクトル	16M/80M	10	80 (7 shallow + 1 deep at 10 KHz each)	3.0	350	円 (20度)	400-600	H:<0.02 V:<0.05	POS/AV AP50 Roll:0.005 Pitch:0.005 head:0.008
Optech	Titan	2	1	RGB+IR	29M/80M	15-300	15-300	1.0	35	線	600	H:<0.02 V:<0.05	POS/AV AP50 Roll:0.005 Pitch:0.005 head:0.008
Leica Geosystems	Chiroptera II	1	1	RGB+IR	80M	500	35	1.5	150	楕円 (14/20度)	600	H:0.01 V:0.05	Novatel SPAN with LCI-100 Roll:0.005 Pitch:0.005 head:0.008
Leica Geosystems	HawkEye III	1	2	RGB+IR	80M	500	35/10	1.5/3.0	150/350	楕円 (14/20度)	600	H:0.01 V:0.05	Novatel SPAN with LCI-100 Roll:0.005 Pitch:0.005 head:0.008
Riegl	VQ-820-G	-	1	-	-	200	200	1.0	50	円弧 (20度)	600	-	-
Riegl	VQ-880-GH	1	1	RGB+NIR	100M/100M	550	550	1.5	35-100	円 (20度)	700	H:<0.05 V:<0.1	Roll:0.0025 Pitch:0.0025 head:0.005

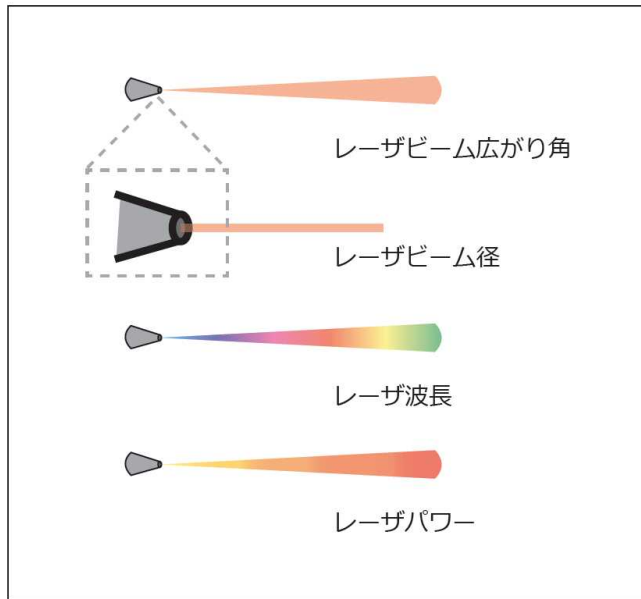
※) 対地高度500mにおけるグラウンド上を仮定する

AIRBORNE LASER BATHYMETRY FOR DOCUMENTATION OF SUBMERGED ARCHAEOLOGICAL SITES IN SHALLOW WATERのTable 1を改良

赤文字は日本の民間航測会社が保有する機材

セッキディスク(透明度板)による透明度(m)に対する乗数。結果は測深度(m)となる。

参考. レーザの安全基準



レーザー放射の皮膚又は目への障害に対する潜在的な危険性

被ばく放出限界AELからクラス分類

クラス	JIS C6802/IEC60825-1:2014 付属書Cより抜粋して引用
クラス 1	直接ビーム内観察を長時間行っても、またそのとき、望遠光学系を用いても安全。
クラス 1M	裸眼（光学器具を用いない。）で、直接ビーム内観察を長時間行っても安全。可視の光エネルギーを放射するクラス 1M レーザ製品をビーム内観察すると、特に周辺が暗い環境下では、目がくらむなどの視覚的な影響が依然として生じ得る。
クラス 1C	医療、診断、手術、又は脱毛、しわ取り、にきび取りのような美容への用途として、皮膚又は体内組織にレーザー光を直接照射することを意図したレーザー製品。クラス 3R、クラス 3B 又はクラス 4 のレベルの場合もあるが、一つ以上の技術的手段によって目への露光を防止するもの。
クラス 2	400 nm~700 nm の波長範囲の可視光を放射するレーザー製品であって、瞬間的な被ばくのみは安全であるが、意図的にビーム内を凝視すると危険。0.25 s の時間基準は、クラスの定義に内在している。これは、多少長めであっても、瞬間的な被ばくによって障害が生じるリスクは非常に小さいという推定に基づいている。
クラス 2M	可視のレーザービームを射出するレーザー製品であって、光学器具を用いない裸眼に対してだけ短時間の被ばくが安全なレーザー製品。規定する測定用の開口直径よりも大きな直径をもつ平行ビームに対しては、双眼鏡のような望遠光学を用いた露光は、MPEを上回り、目の障害を引き起こす可能性がある。
クラス 3R	AEL *がクラス 2 の AEL（可視レーザーの場合）の 5 倍又はクラス 1 の AEL（不可視レーザーの場合）の 5 倍であることから、障害が生じるリスクが比較的小さいレーザー製品。障害が生じるリスクは露光時間とともに増大し、最悪な条件下での目の露光及び意図的な直接的ビーム内観察による露光は危険なことがある。
クラス 3B	目へのビーム内露光が生じると（すなわち、NOHD 内では）、偶然による短時間の露光でも、通常危険なレーザー製品。拡散反射光の観察は通常安全。
クラス 4	クラス 4 レーザ製品は、ビーム内の観察及び皮膚への露光は危険であり、また拡散反射の観察も危険となる可能性があるレーザー製品である。これらのレーザーは、場合によっては火災の危険性が伴う。

JIS C6802 : 2014 の付属書Cから抜粋引用

参考. 用語説明

最大許容露光量 MPE (Maximum Permissible Exposure)	通常的环境下で、人体に照射しても有害な影響を与えることがないレーザー放射のレベル。
被ばく放射限界 AEL (Accessible Emission Limit)	最大露光量(MPE)を基に定められた、各レーザークラスで許容される最大の被ばく放出。
NOHD(公称眼障害距離)	ビーム放射照度又は放射露光量が角膜上の最大許容露光量(MPE)に等しいところまでの出力開口からの距離。
ENOHD(拡張公称眼障害距離)	工学的補助器(双眼鏡等)でレーザー照射を見る可能性がある場合のNOHD。
シングルラインビューイング	人の目がスキャンされているレーザー光に、ごく短時間露光する可能性がある場合。 レーザー照射を行う飛行機は常に移動しているので、地上で静止している観測者の目には1つのスキャンラインのレーザー光が当たるだけで、次のスキャンラインも当たることは考えられません。
凝視	10秒以上の長い時間、レーザー照射を見続けることを意味します。 ホバリングするヘリコプターからのレーザー照射を行う場合はこの可能性があると考えます。ヘリコプターでもホバリングしてのレーザー照射を行わない場合は、当てはまりません。

Riegl社

「HYDROGRAPHIC AIRBORNE LASER SCANNING SYSTEM RIEGL VQ-880-GH Technical Data & Safety Instructions」から抜粋引用