

ISSN 1347-460X
UDC 629.7.018.7
629.7.058
629.735.45
629.735.33

独立行政法人

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-773

実験用航空機による HAPI/PLASI(進入角指示灯)の飛行評価

石井寛一・奥野善則・井之口浜木
藤原健・照井祐之

2003年8月

独立行政法人 航空宇宙技術研究所

NATIONAL AEROSPACE LABORATORY OF JAPAN

目次

概要	1
1. はじめに	1
2. HAPI/PLASIの概要	2
2.1 HAPI/PLASIの動作原理	2
2.2 設置基準	3
2.3 設置状況	3
3. 飛行機による飛行試験	5
3.1 試験目的	5
3.2 試験方法	5
3.3 飛行パターンと評価項目	5
3.4 結果と考察	5
3.5 パイロット・コメント	6
3.5.1 B65による試験	6
3.5.2 Do228による試験	6
4. ヘリコプタによる飛行試験	6
4.1 試験目的	6
4.2 試験方法	6
4.3 飛行パターンと評価項目	7
4.4 結果と考察	11
4.4.1 HAPI	11
4.4.2 PLASI	12
4.5 飛行計測データの誤差要因	17
4.6 パイロット・コメント	17
5. おわりに	18
謝辞	18
参考文献	18

実験用航空機による HAPI/PLASI(進入角指示灯)の飛行評価*

石井 寛一*¹ 奥野 善則*¹ 井之口 浜木*¹
藤原 健*¹ 照井 祐之*²

Flight Evaluation of HAPI/PLASI (Approach Path Indicator) using Research Aircraft *

Hirokazu Ishii *¹, Yoshinori Okuno *¹, Hamaki Inokuchi *¹, Takeshi Fujiwara *¹, Yushi Terui *²

ABSTRACT

This paper presents flight test results to evaluate the performance of the HAPI (Helicopter Approach Path Indicator) and PLASI (Pulse Light Approach Slope Indicator) positioned at Taiki Airfield. The flight tests were conducted using National Aerospace Laboratory of Japan's research helicopter and airplanes. The visual range, horizontal light distribution and vertical light distribution were examined using flight data. The visual range was approximately 1.5 nautical miles in the daytime, and more than five nautical miles at night. Within the visual range, the aircraft approached accurately according to the indicated path. The pilot commented that the background of the lights affected visibility.

概 要

独立行政法人航空宇宙技術研究所では、低視程時における着陸進入の安全性向上を目的として、灯火の光源パターンの変化によって進入角を指示する装置(進入角指示灯)である HAPI (Helicopter Approach Path Indicator) および PLASI (Pulse Light Approach Slope Indicator) を北海道広尾郡大樹町の多目的航空公園に設置した。当所が所有する実験用飛行機 Do228-202 型機および B65 型機と実験用ヘリコプタ MH2000A 型機を用いた飛行試験により、これら進入角指示灯の視認距離、垂直配光、水平配光などの計測と実運用面での評価を行った。その結果、視認距離は昼間で 1.5NM 程度、夜間で 5NM 以上であり、視認距離以内では指示経路に従って精度良く進入できることが確認された。また、パイロット・コメントにより、灯火の背景の状況によって視認性が低下する可能性などが指摘され、進入角指示灯の運用における検討課題が示された。

1. はじめに

救急医療や事故、災害時の傷病者を搬送する手段として航空機を用いた緊急輸送体制を確立するためには、小規模飛行場やヘリポートの運用時間拡大および安全確保

が重要な課題となっている。夜間や薄暮時など、地上の目標物が視認しにくい状況においても、灯火の光源パターンの変化によって着陸進入角をパイロットに知らせる安全な着陸を誘導するための装置として、進入角指示灯が開発され、既に実用化されている。しかし、我が国では一部の警察・消防を除いて導入実績が少なく、その性能を定量的に評価した例が見あたらない。

航空宇宙技術研究所(以下、航技研と表記する)では、2001年3月に北海道広尾郡大樹町の多目的航空公園(以下、大樹)に HAPI (Helicopter Approach Path Indicator, 図 1.1) と PLASI (Pulse Light Approach Slope Indicator, 図 1.2) を整備した。同様の装置として、定期便の旅客機が離発着する飛行場等では、PAPI (Precision Approach Path Indicator, 精密進入経路指示装置)¹⁾ が一般的に用い

* 平成 15 年 6 月 20 日受付 (received 20 June, 2003)
* 1 飛行システム研究センター (Flight Systems Research Center)
* 2 航空宇宙技術振興財団, 元 飛行システム研究センター (Foundation for Promotion of Japanese Aerospace Technology. Formerly, Flight Systems Research Center.)

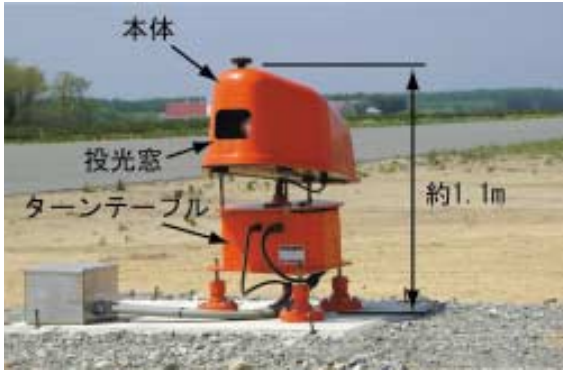


図 1.1 HAPI



図 1.2 PLASI

表 1.1 単位換算表

単位	読み	換算値
ft	feet	0.3048 m
kt	knot	0.5144 m/s
NM	nautical mile	1852 m
deg	degree	0.01745 rad

られているが、PAPIが4灯式であるのに対してHAPIおよびPLASIは1灯式であり、コストや整備性に優れている。

HAPIとPLASIの違いとしては、PLASIは主に固定翼機の進入において高度方向の誘導を目的としたものであり、進入方位が固定されているのに対して、HAPIはヘリコプターの運用に適するように設計されており、ターンテーブ

ルを用いて方位を変更することが可能である。そのため、大樹ではPLASIを滑走路両端に1基ずつ、HAPIを滑走路中央付近に1基設置した。

本稿では、航技研所有の実験用飛行機であるMuPAL- α ²⁾ およびビーチクラフト式65型機、実験用ヘリコプタであるMuPAL- ϵ ³⁾ を用いてこれらの進入角指示灯の飛行評価試験を実施した結果について報告する。

なお、本稿で用いる単位はSI単位系に準拠するが、航空機関連で用いられる単位については、慣習的に用いられる単位を併用して表す。主な単位のSI単位系への換算は表 1.1 に示す。

2. HAPI/PLASI の概要

2.1 HAPI/PLASI の動作原理

図2.1に示すように1灯の光源から出た光をフィルタに

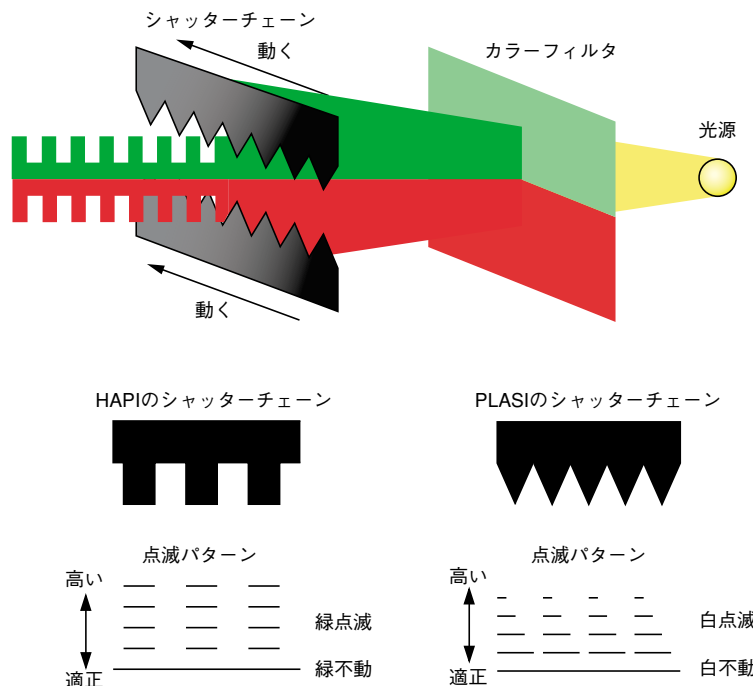


図 2.1 光源パターン生成の概念図

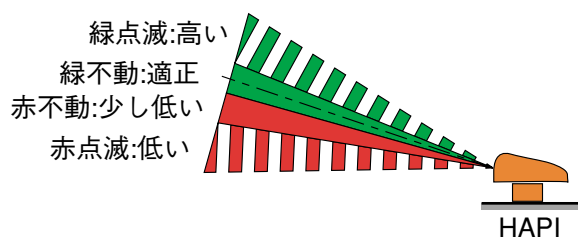


図2.2 HAPIの光源パターン (PLASIの場合は白と赤)

よって上側をHAPIの場合は緑 (PLASIの場合は白色) とし、シャッターチェーンを動かすことによって進入角が高い、または低い時の光が点滅して見える。HAPIとPLASIではシャッターチェーンの歯の形状が異なり、HAPIでは四角形で点滅パターンが経路に関わらず一定であるのに対し、PLASIでは三角形になっているため、経路が指示進入角から離れるに従って消えている時間の割合が大きくなる。進入経路と光源パターンの関係は図2.2のように進入角が適正な場合は緑 (白) の不動光、高い場合には緑 (白) の点滅、やや低い場合には赤の不動光、低い場合には赤の点滅として見える。また、地震や経年変化等によって本体の傾斜、すなわち指示進入角の変動が0.5度を超えた場合には自動的に消灯する。

2.2 設置基準

進入角指示灯に関する法規は、国内では航空法施行規則第百七条三項の二に規定されている⁴⁾。HAPIについては同項の(四)に「HAPI方式による灯器の設置基準」として規定されているが、PLASIに関しては国内には規定がない。HAPIに関する規定の中から主な内容を以下に挙げる。

- ・灯器は、着陸区域の周辺であって航空機の航行に障害とならない場所に設置すること。

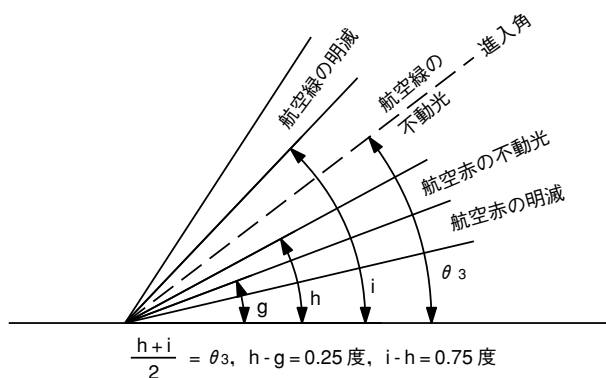


図2.3 航空法による垂直配光の規定 (文献4より抜粋)

- ・灯器は、航空緑の明滅、航空緑の不動光、航空赤の不動光及び航空赤の明滅を航空機の進入してくる方向に対し図2.3に示す角度で出すものであること。
- ・明滅の1分間の明滅回数は、120以上であること。
- ・不動光の光度及び明滅の最大光度は、進入方向から左右それぞれ3度までの範囲および航空緑と航空赤との境界から上下それぞれ2度までの範囲で9000cd以上であること。進入方向から左右にそれぞれ15度までの範囲および航空緑と航空赤との境界から上下それぞれ10度までの範囲では375cd以上であること。
- ・配光は、航空機にまぶしさを与えないものであること。
- ・灯器は、航空機が接触したときこれに障害を与えず、かつ、他の灯火の機能を損なうおそれのないものであること。
- ・制御装置を設備すること。

なお、大樹に設置したHAPIの仕様はこれらの基準を満足している。

2.3 設置状況

図2.4に大樹の滑走路座標系と各灯火を原点とした灯火座標系を、また、表2.1に滑走路座標系で表した各灯器の位置を示す。なお、 $X_{RW}Y_{RW}$ 平面は滑走路座標系の原点

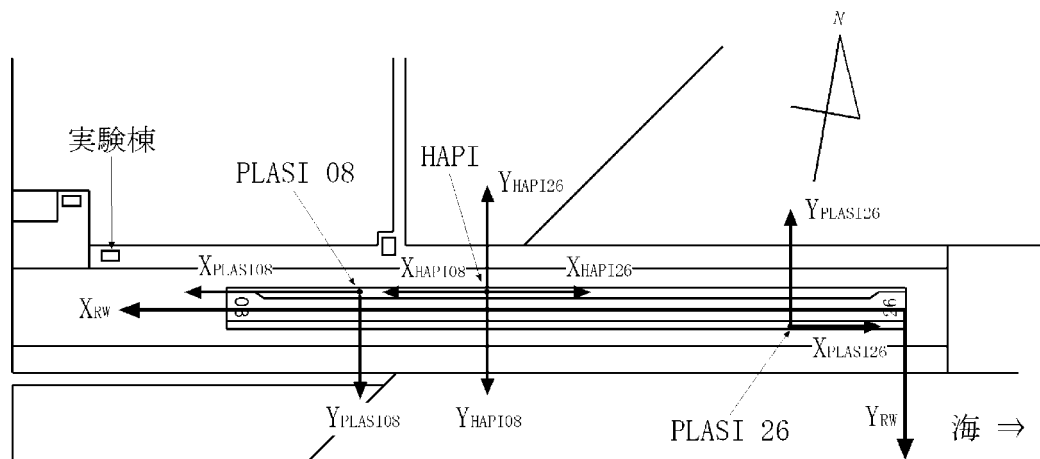


図2.4 滑走路座標系と灯火座標系

表 2.1 滑走路座標系における各灯器の設置位置

灯器	X_{RW} [m]	Y_{RW} [m]	Z_{RW} [m]
HAPI	614.02	-21.94	2.74
PLASI08	801.74	-24.31	3.22
PLASI26	168.15	24.35	0.88

における局所水平面とし、 $+Z_{RW}$ 軸は $X_{RW}Y_{RW}$ 平面に直交する上方とした。灯火座標系の各軸は滑走路座標系と平行、すなわち各灯火座標系のXY平面は滑走路座標系原点における局所水平面に平行で、灯火が投光する方向を $+X$ 軸とした。灯火設置点における局所水平面と、滑走路座標系原点における局所水平面とは、地球の曲率のため最大 (PLASI08) で0.007度の角度差があるが、今回の評価の範囲ではその差は十分小さく無視できるものとした。滑走路の方位は一般に、進入方向を磁北から右回りに測った角度の10分の1 (小数点以下第1位を四捨五入) の整数を用いて表される。ここではその数字を用いてRWY26などと表記する。大樹の滑走路は水平に対してRWY08側が高い0.37% (0.21度) の勾配を持っており、RWY08端の Z_{RW} 座標は3.7mとなる。

3基のHAPI/PLSAIは実験棟に設置した操作盤 (図2.5) から操作する。光度調整スイッチを操作することで、進入および着陸中のパイロットに眩惑を与えないように100, 60, 30, 10, 7%の5段階に光度 (光源から放射される光の強さを表す単位) を調整することが可能である。

表2.2に大樹に設置したHAPIの主要諸元の地上検査値 (2001年2月実施) を示す。HAPIのターンテーブルは図2.5に示した方位角変更スイッチによって回転し、滑走路

電源スイッチ



図 2.5 大樹町実験棟に設置されたHAPI/PLASI制御盤

方向であるRWY08と26方向および滑走路直交方向であるRWY17,35方向からの進入に対応することが可能である。以下では、RWY08に向けたHAPIをHAPI08などと表記する。指示進入角は、水平に設置された本体に対して光学系を傾斜させることによって0~12度の範囲で設定可能であり、図2.6に示したように試験時には6度に設定した。

表 2.3 に PLASI の主要諸元の地上検査値 (2001年2月実施) を示す。指示進入角は0~12度の範囲で設定が可能であり、試験時には固定翼機での使用を考慮して3度に設定した。以下では、RWY08端、RWY26端に設置さ

表 2.2 HAPI 主要諸元 (地上検査は2001年2月17日実施)

型番	三菱プレジジョン製 HAPI M2600-II 型			
項目			仕様	地上検査値
光源の最大光度			9000cd 以上	11000 cd
垂直配光	指示進入角		6度 (5.5~6.5度)	6.00度
	経路	光源パターン	パターン幅	パターン幅
	高い	緑点滅	約 2.5度 (1.5~3.5度)	3.00度
	適正	緑不動	約 0.75度 (0.743~0.793度)	0.781度
	やや低い	赤不動	約 0.25度 (0.245~0.298度)	0.272度
	低い	赤点滅	約 5.0度 (4.0~6.0度)	4.50度
水平配光	配光幅		(片側) 約 12度 (9~15度)	右: 11.8度 左: 11.8度
	設置方位		Rwy08, 17, 26, 35	

表 2.3 PLASI 主要諸元 (地上検査は 2001 年 2 月 17 日実施)

型番	三菱プレジジョン製 PLASI M3600-II 型			
灯器			PLASI08	PLASI26
項目			地上検査値	地上検査値
光源の最大光度		48000 cd 以上	50231 cd	59973 cd
垂直配光	指示進入角		3 度 (2.5~3.5 度)	3.00 度
	経路	光源パターン	パターン幅	パターン幅
	高い	白点滅	約 2.5 度 (1.5~3.5 度)	2.64 度
	適正	白不動	約 0.35 度 (0.30~0.40 度)	0.349 度
	やや低い	赤不動	約 0.175 度 (0.125~0.225 度)	0.156 度
	低い	赤点滅	約 2.5 度 (1.5~3.5 度)	2.34 度
水平配光	配光幅		(片側) 約 8 度 (6.4~9.6 度)	右 : 7.78 度 左 : 7.78 度
	設置方位			RWY08 RWY26

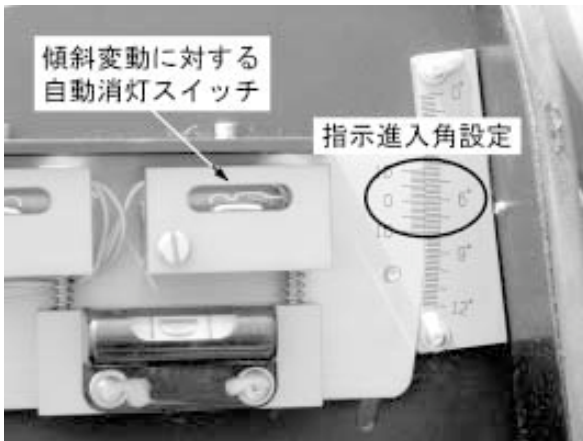


図 2.6 HAPI 本体内部の指示進入角設定

れた PLASI をそれぞれ PLASI08, PLASI26 と表記する。

3. 飛行機による飛行試験

3.1 試験目的

航技研が所有する実験用飛行機を用いて運用評価を主な目的とした飛行試験を実施した。2001年3月にビーチクラフト式65型機(以下、B65と表記する)を使用して飛行評価を行った。また、2001年4月にドルニエ式228-202型機を母機とする実験用飛行機 MuPAL- α (以下、Do228と表記する)を用いて飛行評価を実施した。なお、本試験からヘリコプタによる飛行試験を実施した2003年6月までの間に、各灯器本体および指示進入角について調整を行っており、ヘリコプタによる試験結果との定量的な比較には注意を要する。

3.2 試験方法

機体に搭載したGPS受信機を用いて機体位置を計測すると同時に、GPS受信機に接続したイベント・スイッチによって、パイロットが灯火の光源パターン変化を視認した時刻を記録した。試験後にGPSデータをキネマティック処理し、機体の位置を計算した。ただし、本試験では機体姿勢を計測できなかったため、機体位置としてGPSアンテナ位置を使用しており、パイロットの視点から後方にB65では約1.6m、Do228では約6.8m離れていることに注意する必要がある。

3.3 飛行パターンと評価項目

(1) 滑走路方向水平飛行

図3.1(a)に示すように、滑走路方向に高度を変えて水平飛行し、視認距離と垂直配光を確認した。

(2) 滑走路直交水平飛行

図3.1(b)に示すように、滑走路に直交する方向に水平飛行し、水平配光の確認を行った。灯火からの距離は視認距離に応じて変更した。

(3) アプローチ

図3.1(c)に示すように、灯火を視認できない距離から水平飛行し、灯火視認後は灯火の指示に従って進入し、高度200ft到達後復行した。試験後にパイロット・コメントを得て、各指示灯の評価とした。

3.4 結果と考察

表3.1に実施した試験ケース一覧を、図3.2~3.7に飛行結果の一部を示す。図中の一点鎖線は設定した指示進

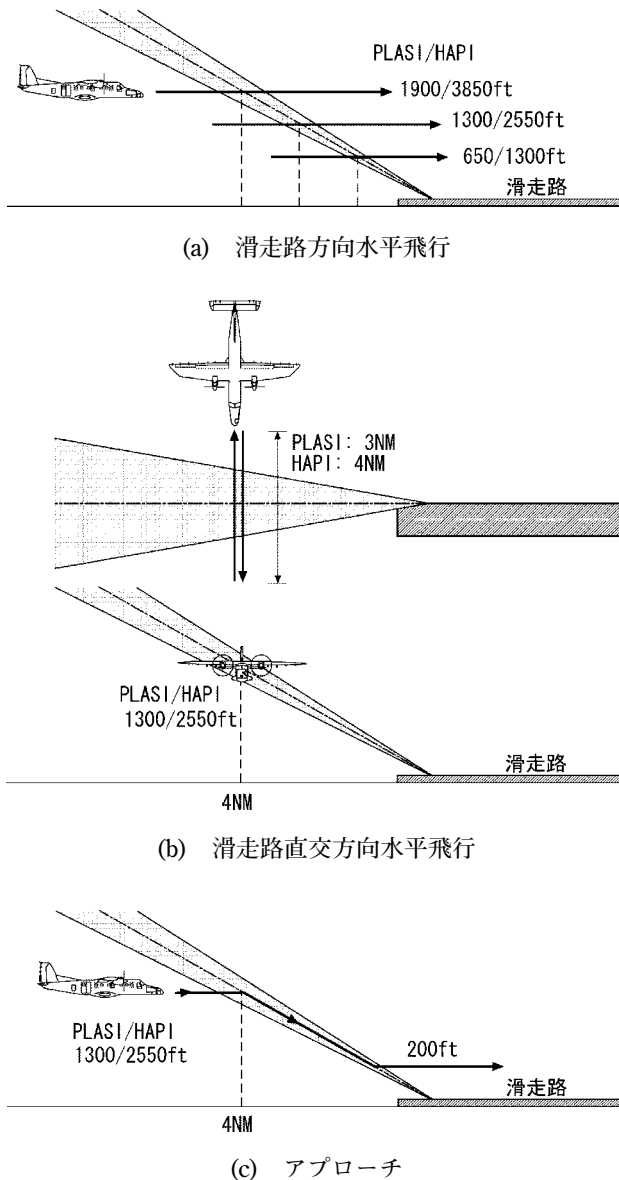


図3.1 飛行機による試験の飛行パターン

入角を、破線は地上検査で得られた光源パターンの境界を示す。表3.2および表3.3に全てのフライトを平均して求めた滑走路座標系原点における局所水平面からの各光源パターンの境界の仰角と指示進入角を示す。光源パターン境界において、飛行計測値は地上検査値より大きい傾向があり、その原因としてパイロットによるイベント・スイッチ押下の時間遅れなどが考えられる。

3.5 パイロット・コメント

3.5.1 B65 による試験

- ・日中であったため、視認距離は約2NMであった。
- ・灯器の周囲に積雪があり、PLASIの白色の視認が困難だった。一方でHAPIの緑色は容易に視認できた。
- ・灯火の色の境界で、色が明確に判断できない場合があった。

- ・HAPIに従って6度の降下角度でアプローチするのは、B65機の飛行特性に余裕が無く、十分な評価ができなかった。

3.5.2 Do228 による試験

- ・積雪があったときに比べて、背景の草の緑色のためHAPIの視認がより困難であった。
- ・灯火が視認できれば、光源パターンの識別は可能であった。
- ・HAPIの方が暗いため、PLASIより習熟に必要な回数が多くなる可能性がある。
- ・夜間には5NM以上遠方から視認できたが、滑走路灯などの設備が無い場合、他の灯火（緊急車両の赤色灯など）との識別が困難になる可能性がある。
- ・風などで流された場合に、横方向の位置の変化が分かり難かった。（ただし、HAPIおよびPLASIは横方向の誘導を目的とするものではない。）
- ・滑走路末端まで進入すると、灯火が眩しいので灯火操作員に連絡して光度を調整しながら運用する必要がある。
- ・大樹のように複数の灯火がある場合、使用していない灯火を消さないでフラア中に眩惑する危険があるので注意が必要である。

4. ヘリコプタによる飛行試験

4.1 試験目的

ヘリコプタはホバリングおよび低速飛行が可能であり、灯火視認を判断した時の機体位置を飛行機より精度良く計測できる。また、ヘリコプタに特徴的な飛行である垂直上昇、左右横進を用いることによって、パイロットは通常の飛行時と同様の姿勢および視点で灯火に正対することが可能であり、灯火視認の可否の判断が正確に実施できると考えられる。そのため、ヘリコプタを用いた飛行試験ではHAPIおよびPLASIの性能を定量的に評価することを主な目的とした。

4.2 試験方法

本試験では、三菱重工式MH2000A型機を母機とした航技研所有の実験用ヘリコプタMuPAL-ε(図4.1)を使用した。MuPAL-εの実験用搭載システムの一つであるDGPS/INS(Differential Global Positioning System/Inertial Navigation System)複合システム⁵⁾を用いて機体位置および姿勢をサンプリング周波数50Hzで計測し、パイロットの視点位置の時間履歴を求めることで指示灯の視認距離および水平・垂直配光を評価した。2名のパイロットが搭乗し、一方のパイロットが操縦し、もう一方の評価パイロットが灯火の視認を担当した。評価パイロット

表 3.1 実施ケース一覧

試験日			2001 年			
			3/14 午前	3/14 午後	4/17 午後	4/17 薄暮～夜間
天候			晴	曇	晴	晴
視程			10km (5NM)	10km (5NM)	10km (5NM)	10km (5NM)
備考			積雪	積雪	なし	なし
使用機体			B65	B65	Do228	Do228
飛行パターン	灯器/方位	高度 [ft]				
滑走路方向 水平飛行 速度は 90~100kt	HAPI08	650	○○			
	HAPI26	1300		○○ 図 3.2	○○○	
		650		○ 図 3.2		
	PLASI08	650	○			○
	PLASI26	1300		○○ 図 3.3		
		650	○○○	○ 図 3.3	○	○ 図 3.4
滑走路直交方向 水平飛行 速度は 90~100kt	HAPI08	1300		○		
	HAPI26	1300		○○	○○ 図 3.5	
	PLASI08	650	○	○		
	PLASI26	650		○	○ 図 3.6	
アプローチ 速度は 90~100kt	HAPI08	2500 ↓ 200				
	HAPI26	2500 ↓ 200			○○○ 図 3.7	
	PLASI08	1300 ↓ 200				○
	PLASI26	1300 ↓ 200	○	○	○	○

○印は実施回数を表す。ただし、滑走路直交方向は往復で1回とする。

は視認開始/終了時および光源パターン変化時にコレクティブ・スティックに取り付けられたイベント・スイッチ(図4.2)を押下して時刻を記録した。また、計器板に装備された実験用ディスプレイにトンネル型表示⁶⁾などを表示して試験実施位置へ効率的に誘導した。

4.3 飛行パターンと評価項目

(1) アプローチ

進入角指示灯における適正経路をトンネル型表示で表示し、図4.3(a)に示すように灯火を視認できない点(約5NM=9 km)から進入を開始する。灯火を視認した時刻

をイベント・スイッチ押下によって記録し、その後は進入角指示灯の指示に従って高度150ft(約50m)まで進入を続ける。この飛行パターンにより進入角指示灯の視認可能距離確認と進入角指示灯を用いた時の経路維持精度評価を行った。

(2) 垂直スweep

図4.3(b)に示すように進入角指示灯から1NM(1852m)の点で機首を滑走路方向に向け、高度50ftから垂直上昇して灯火が見えなくなるまで上昇する。灯火の光源パターンが変化した時刻をパイロットのイベント・スイッチ押下によって記録し、その時のパイロットの視点位置

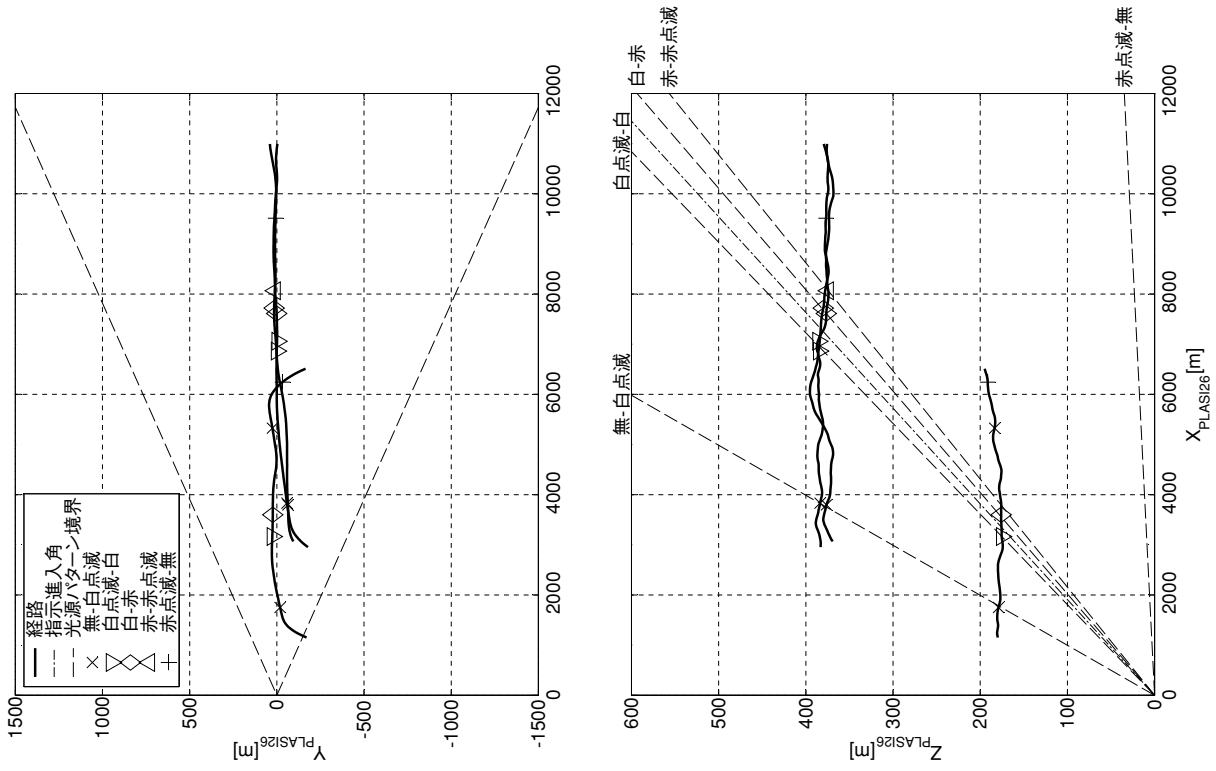


図 3.2 HAP126 に対する滑走路方向水平飛行の経路 (昼間実施)

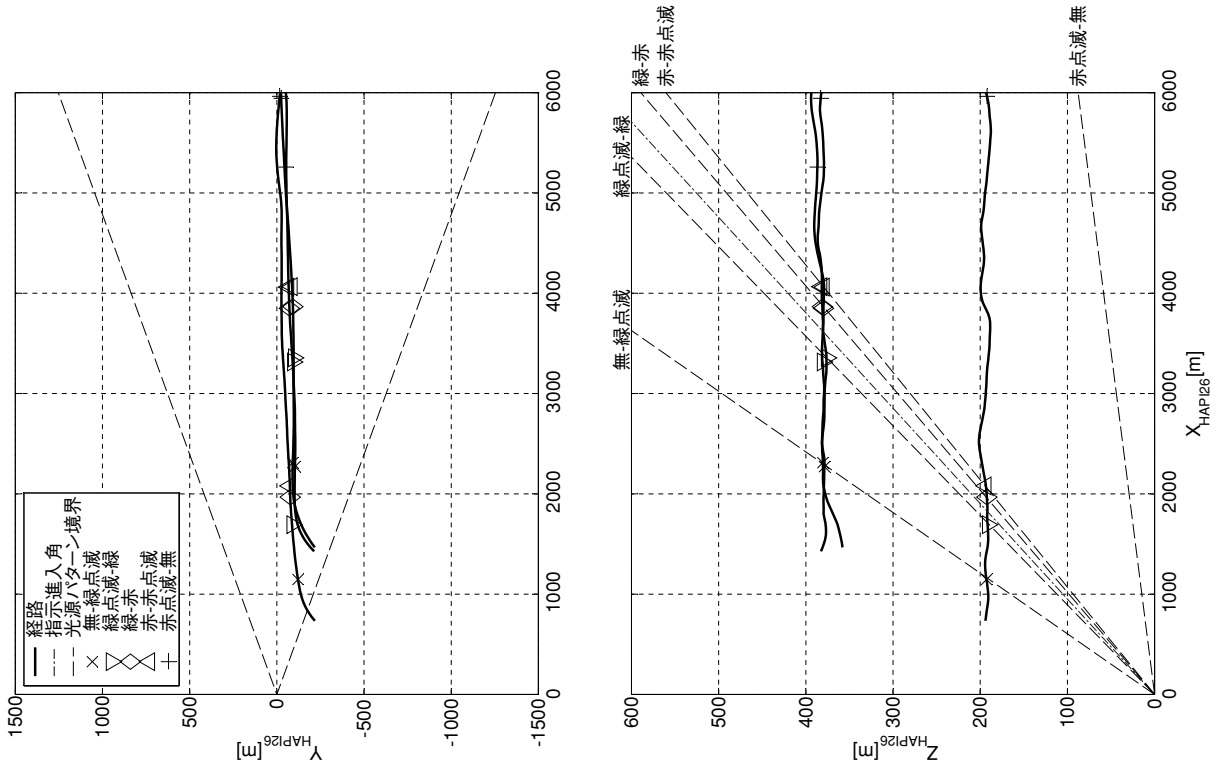


図 3.3 PLAS126 に対する滑走路方向水平飛行の経路 (昼間実施)

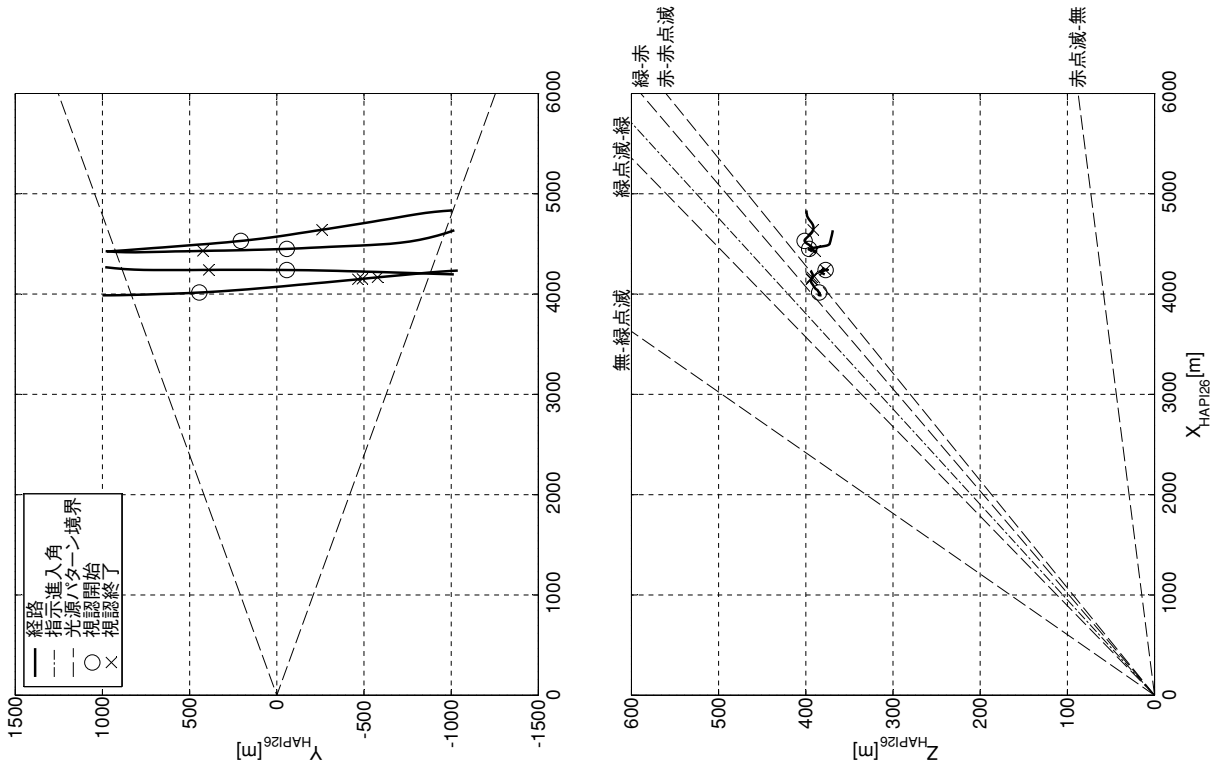


図 3.5 HAPI26 に対する滑走路直交方向水平飛行の経路 (昼間実施)

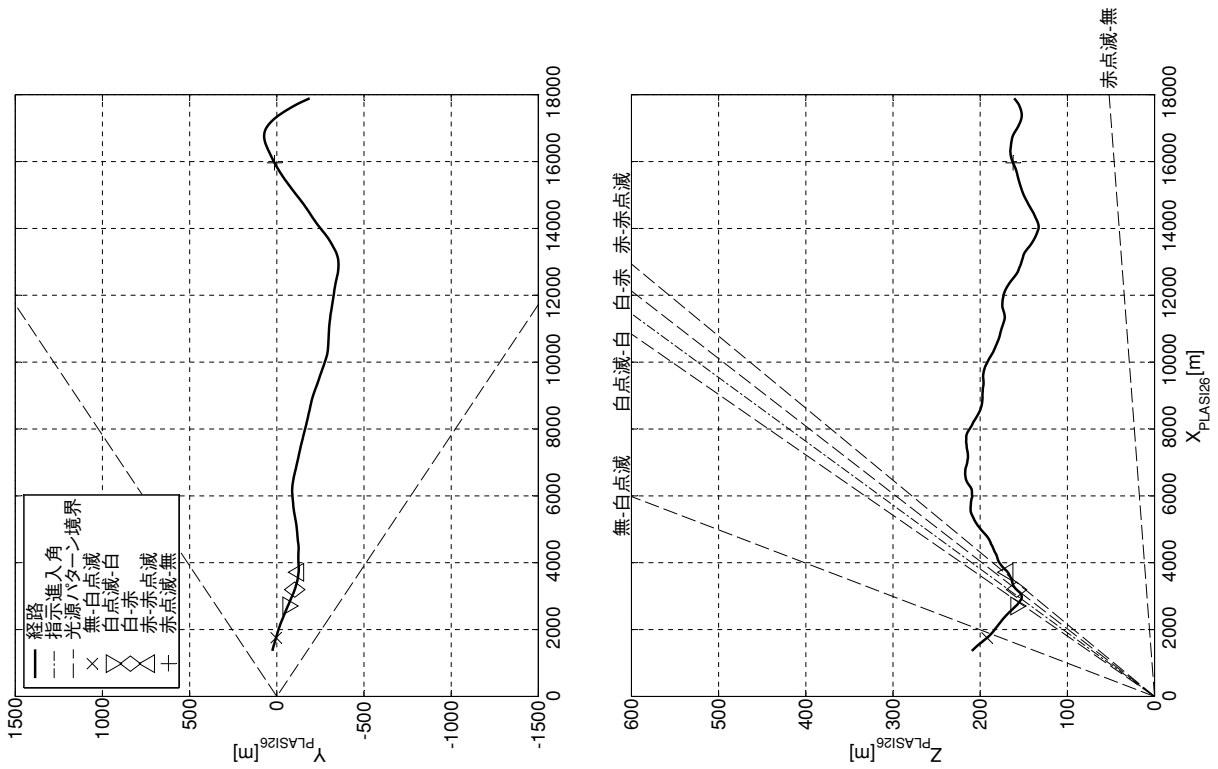


図 3.4 PLASI26 に対する滑走路方向水平飛行の経路 (夜間実施)

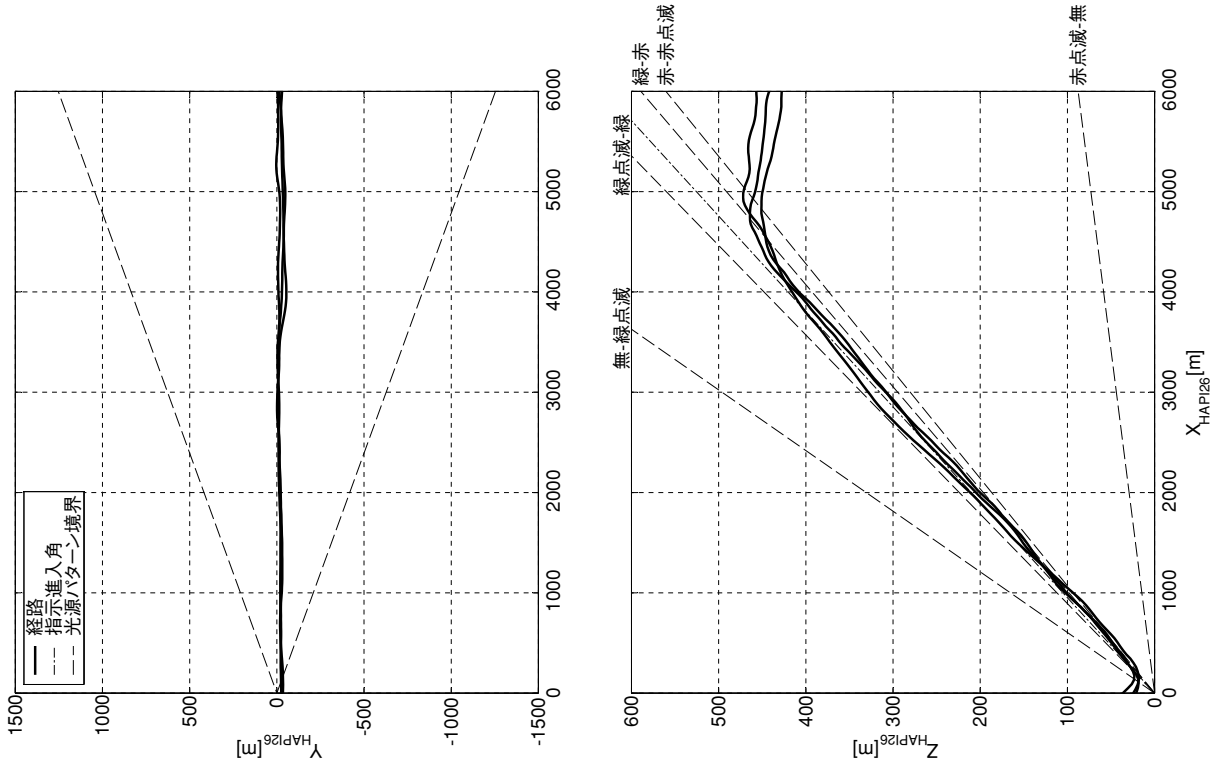


図 3.6 PLAS126 に対する滑走路直交方向水平飛行の経路 (昼間実施)

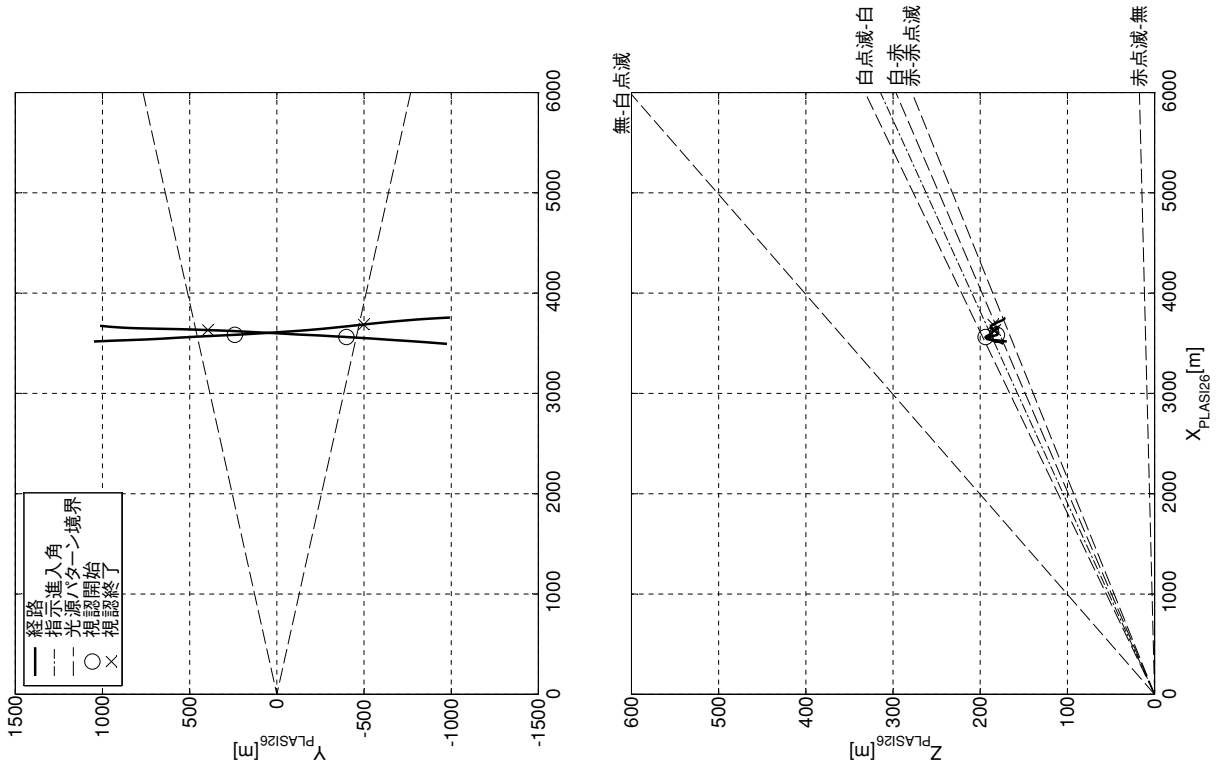


図 3.7 HAPI26 に対するアプローチの経路 (昼間実施)

表 3.2 HAPI の光源パターン境界の仰角と指示進入角

光源パターン	地上検査値 [deg]	飛行計測値 [deg]	
		HAPI08	HAPI26
緑点滅→無	9.39	9.65	9.63
緑不動→緑点滅	6.39	6.62	6.55
指示進入角 (緑不動の中心)	6.00	6.24	6.15
赤不動→緑不動	5.61	5.86	5.75
赤点滅→赤不動	5.34	5.47	5.34

表 3.3 PLASI の光源パターン境界の仰角と指示進入角

光源パターン	PLASI08		PLASI26	
	地上検査値 [deg]	飛行計測値 [deg]	地上検査値 [deg]	飛行計測値 [deg]
白点滅→無	5.81	6.04	5.73	5.92
白不動→白点滅	3.17	3.18	3.17	3.26
指示進入角 (白不動の中心)	3.00	3.02	3.00	3.08
赤不動→白不動	2.83	2.85	2.83	2.89
赤点滅→赤不動	2.67	2.57	2.66	2.59



図 4.1 飛行試験風景



図 4.2 イベント・スイッチ

から垂直配光を確認する。

(3) 水平スイープ

図 4.3(c) に示すように進入角指示灯から 1NM (1852m) の点で機首を滑走路方向に向けて左右に横進する。灯火が視認できなくなった時刻をイベント・スイッチ押下によって記録し、その時のパイロット視点位置から水平配光を確認する。

4.4 結果と考察

本評価は昼間の 1 フライトで実施した。夜間のフライトも予定していたが、天候不良のため実施できなかった。表 4.1 に実施した試験項目一覧を、また、図 4.4 ~ 4.9 に

全ケースの飛行経路を示す。図中の一点鎖線は指示進入角を、破線は地上検査で得られた光源パターンの境界を示す。

4.4.1 HAPI

(1) 視認距離確認

アプローチの結果 (図 4.4) から、灯火を視認した時の光源パターンは緑点滅で、視認距離は 1.46NM (約 2700m) であった。昼間の視認距離が短い原因として、灯火の緑色光が背景の緑色から識別しにくいことが挙げられる。

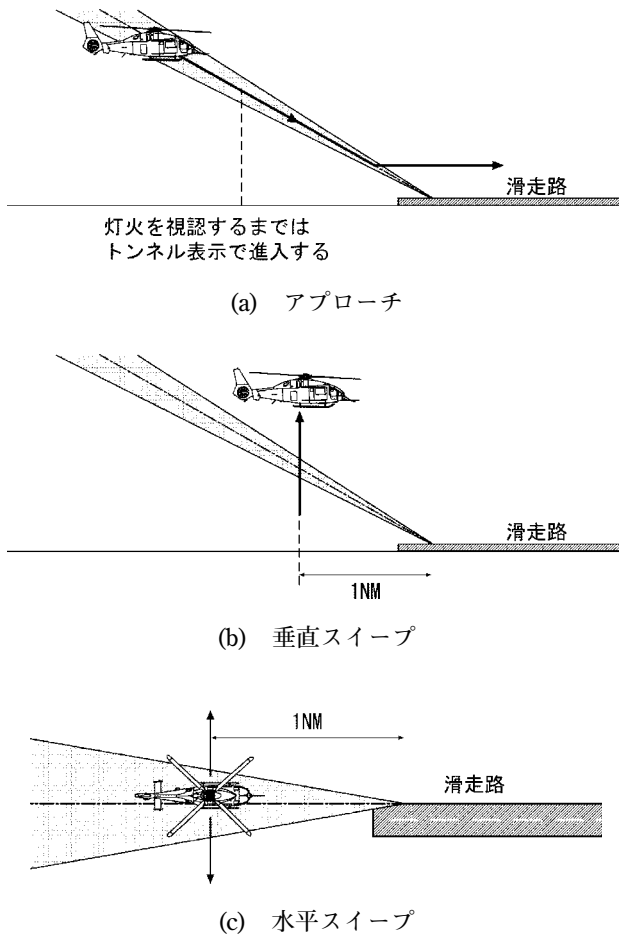


図 4.3 ヘリコプタによる試験の飛行パターン

(2) 垂直配光確認

図4.5に示した垂直スイープの結果から、光源パターン境界線の仰角について、飛行試験による計測値を表4.2に示す。ただし、灯火から1NM離れた点における垂直配光下限は高度約75ft(23m)で低過ぎるために計測できなかった。適正経路である緑不動光の中心の水平面からの仰角は6.07度と推定された。一方で、光源パターン幅を

表 4.1 試験実施項目一覧

実施日時		6/10 13:30~15:00		
天候		晴れ		
視程		10km (5NM)		
灯器	方位	光度	試験項目	図番号
HAPI	08	5	アプローチ	図 4.4
	26	5	垂直スイープ	図 4.5
	26	5	水平スイープ	図 4.6
PLASI	26	5	アプローチ	図 4.7
	26	5	垂直スイープ	図 4.8
	26	5	水平スイープ	図 4.9

比較すると、飛行計測値は緑不動光がやや狭く、また、赤不動光がやや広がっているが、その差は4.5節に示した誤差以内である。

(3) 水平配光確認

図4.6に示した水平スイープの結果から、水平配光は緑点滅の灯火に正対して右側が10.64度、左側で7.53度であり、配光視認幅は18.17度である。図4.10に灯火の水平方向光度分布(メーカー公表値)から得られる視認距離確認と水平配光確認の距離における水平方向照度(光源に照らされる明るさ)分布を示す。この図から水平配光確認時(灯火からの距離0.99NM)において、視認距離確認(方位角0.8度、距離1.46NM)で視認した時と同程度の照度となる方位角を推定すると8.6度となる。従って、水平配光視認幅は17.2度で飛行試験結果とよく一致しており、水平配光の確認が精度良く実施できたと考えられる。一方で、左右の配光視認角度の差から、水平配光の中心がRWY26に対して右側に1.56度ずれている可能性も確認された。しかし、HAPIの設置基準⁴⁾では方位角に対する光度の下限が規定されているだけであり、大樹に設置したHAPIはこの基準を満足している。さらに、水平配光の中心付近では横方向の光度の変化は小さいこと(図4.10参照)からも設置基準上の問題は無い。また、HAPIは高度方向の誘導を主な目的としたものであるため、運用上の問題は無い。

(4) 進入角維持精度

図4.4のアプローチの結果において、灯火を視認してから滑走路座標系高度150ft(45.7m)までの間で進入角の時間平均を求めると5.93度であり、また、最大値は6.12度、最小値は5.73度であった。ILS(Instrument Landing System, 計器着陸装置)を用いた進入では、高度方向の偏位量(グライドスロープ)は計器にはdotの単位で表示されている。進入角度をdotに換算した値はILS設備によって異なるが、本稿では一般的な値である1dot=0.36度を用いる。表4.2に示した垂直配光確認試験から、緑不動光の中心として指示進入角を求めると6.07度であり、これをILSのグライドスロープと見なして飛行結果の偏位量をILSポインタの指示値に換算すると平均値が0.38dot、標準偏差が0.24dotとなる。当所が同機体で実施したILS進入精度試験の結果⁷⁾によると、偏位の平均値は0.10dot、標準偏差は0.28dotであった。これにより、HAPIの指示に従ってILSと同様に精度良く進入できることが確認できた。

4.4.2 PLASI

(1) 視認距離確認

図4.7にアプローチの結果を示す。ここで、X座標約3500mにおける機体位置の不連続な変化は、機体搭載

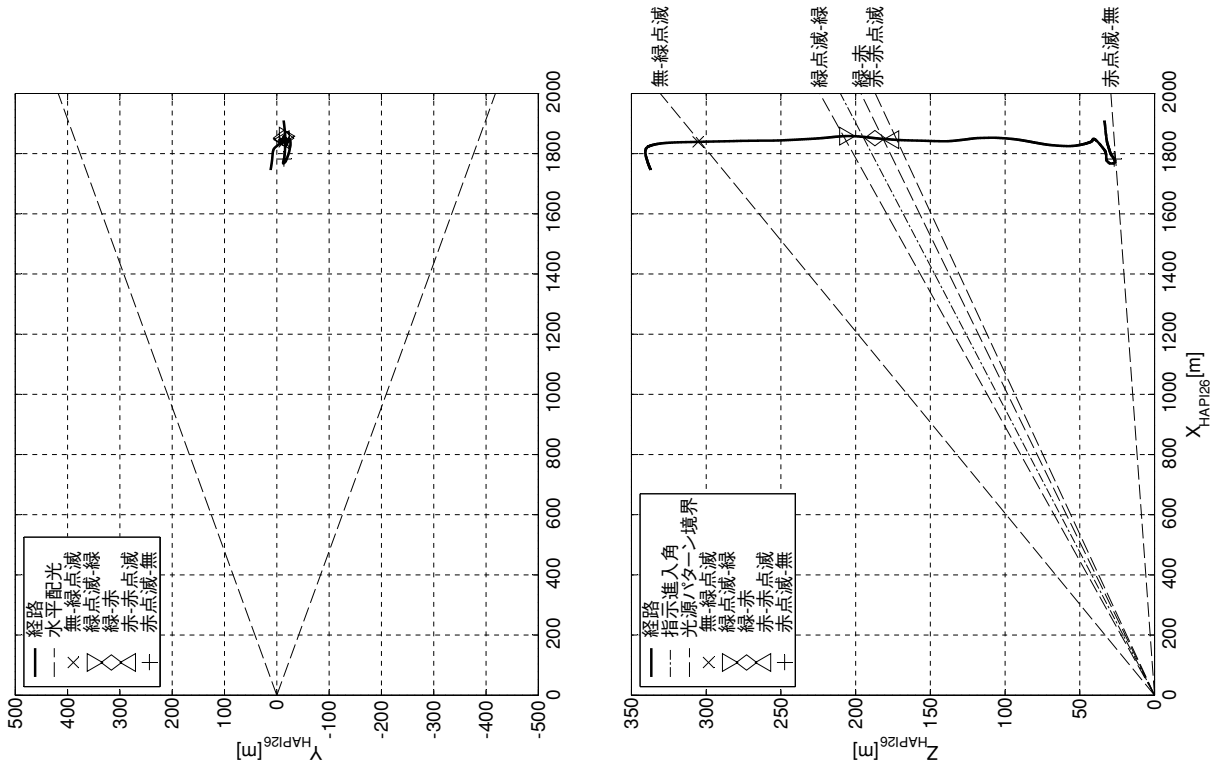


図 4.4 HAPI08：アプローチの飛行経路

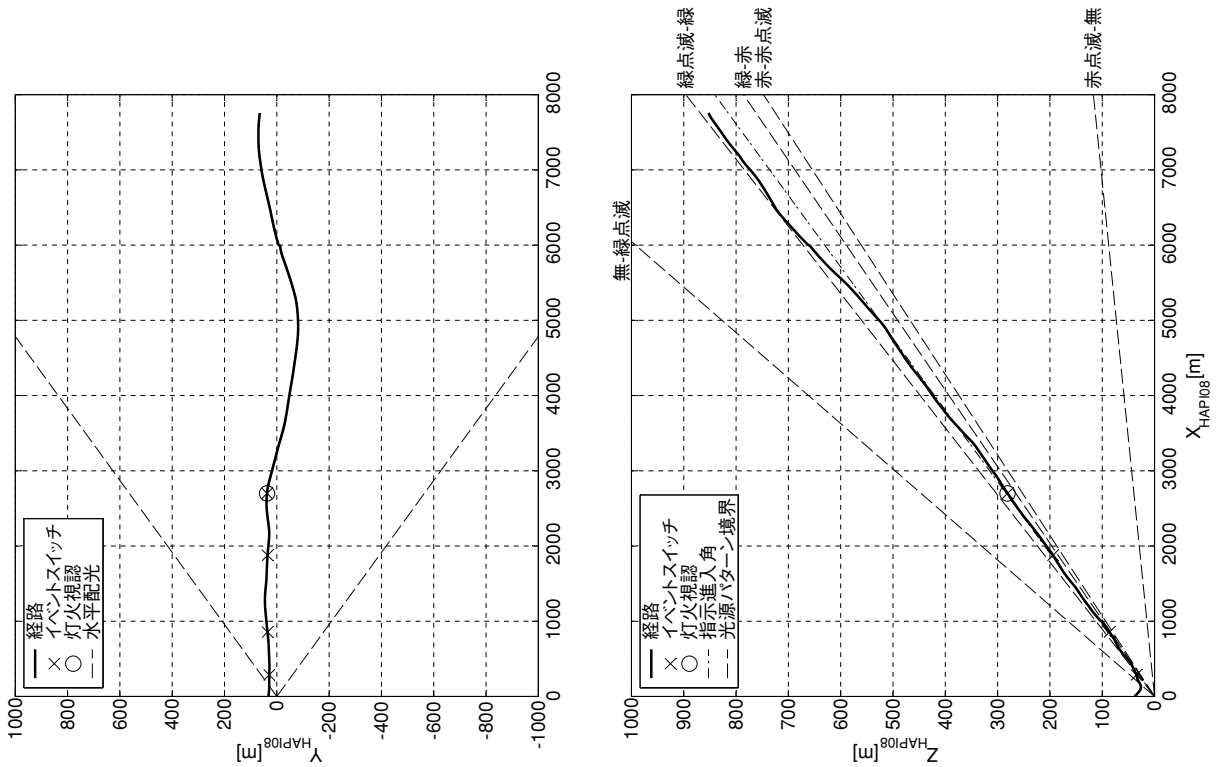


図 4.5 HAPI26：垂直スロープの飛行経路

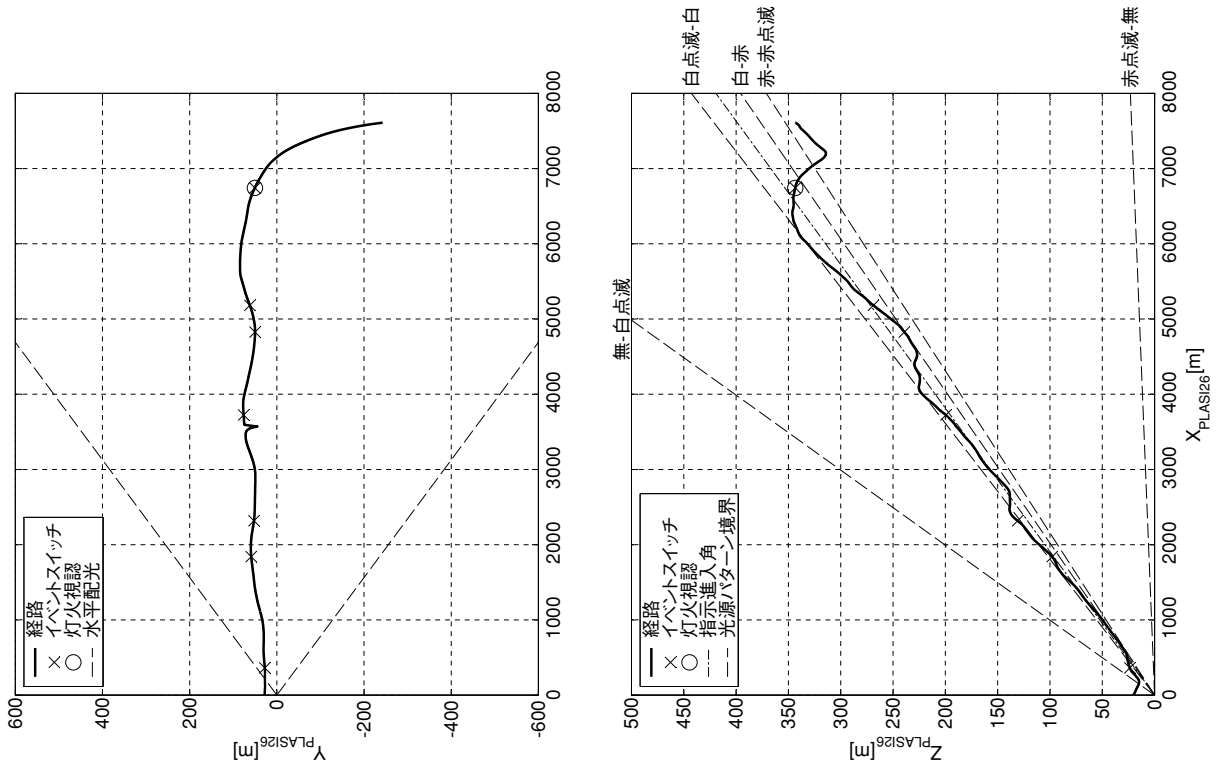


図 4.6 HAP126：水平スイープの飛行経路

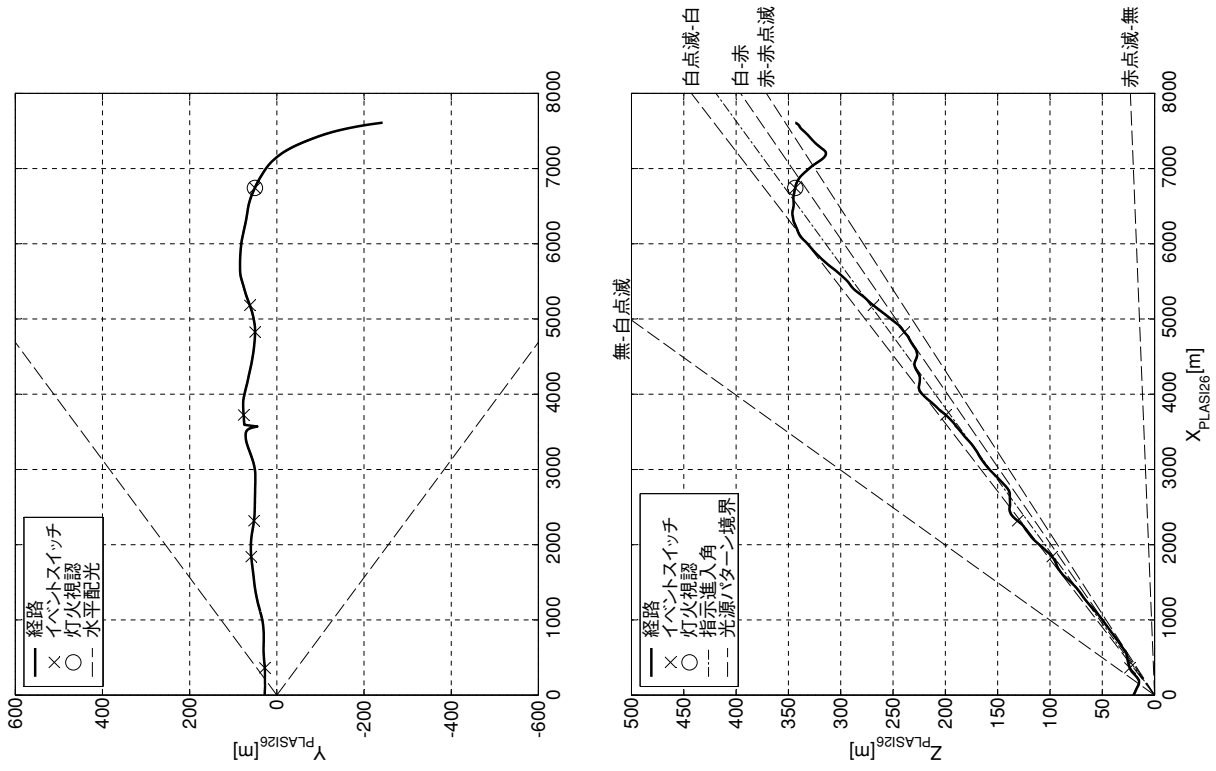


図 4.7 PLAS126：アプローチの飛行経路

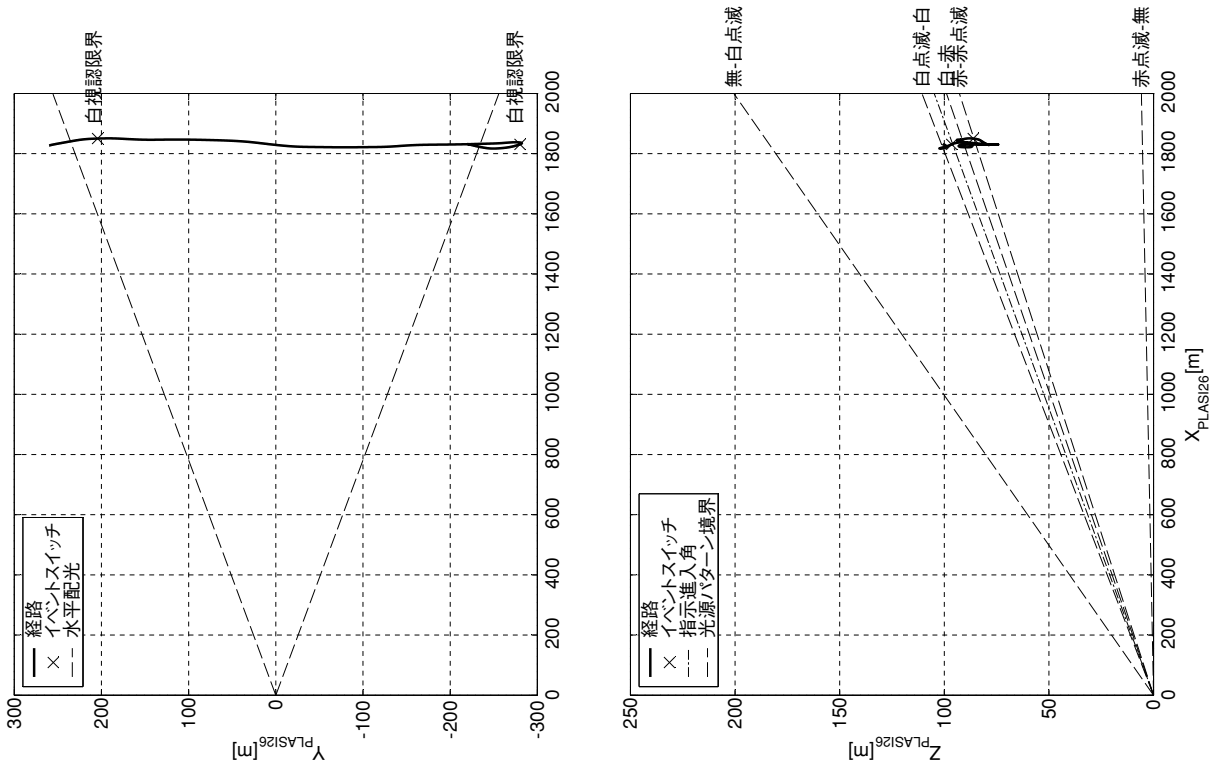


図 4.9 PLASI26：水平スイープの飛行経

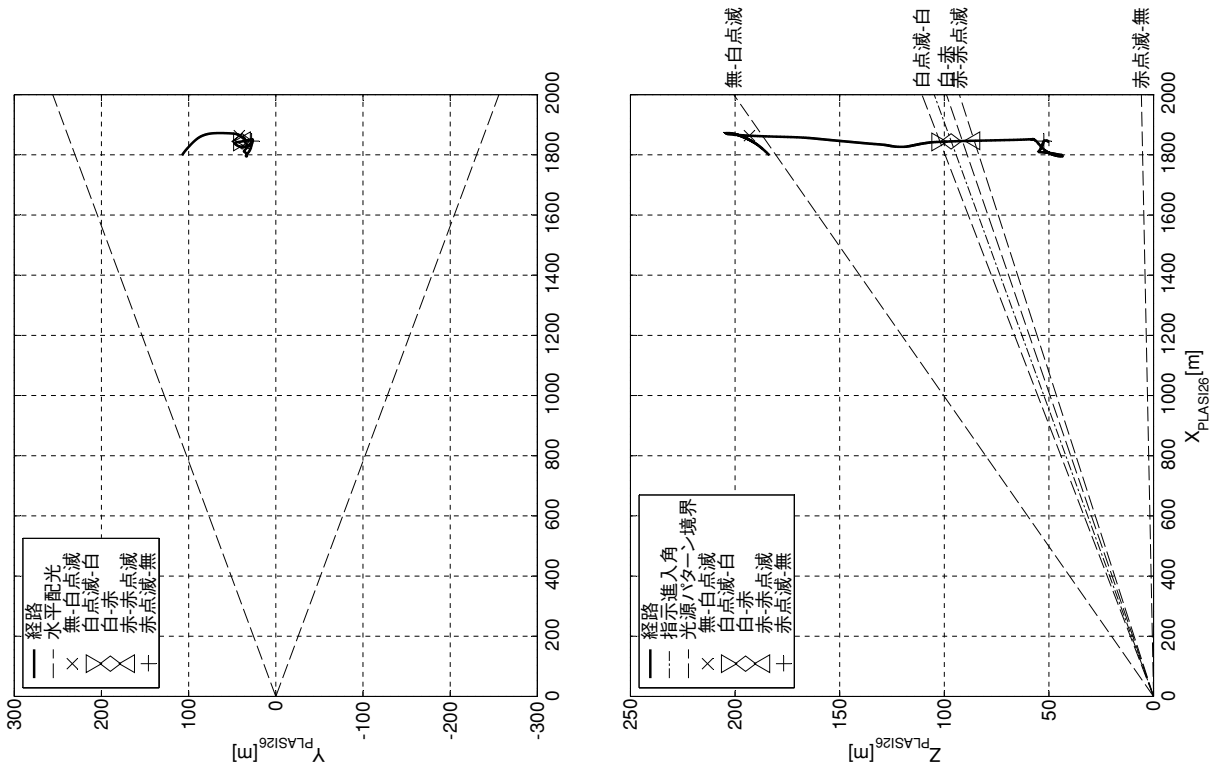


図 4.8 PLASI26：垂直スイープの飛行経路

表 4.2 HAPI26 光源パターン境界の水平面からの仰角と光源パターン角度幅

光源パターン境界	仰角 [deg]	光源パターン	パターン幅 [deg]
緑点滅→無	9.43	—	—
緑不動→緑点滅	6.36	緑点滅	3.06
指示進入角 (緑不動の中心)	6.07	緑不動	0.59
赤不動→緑不動	5.77	赤不動	0.37
赤点滅→赤不動	5.40	—	—

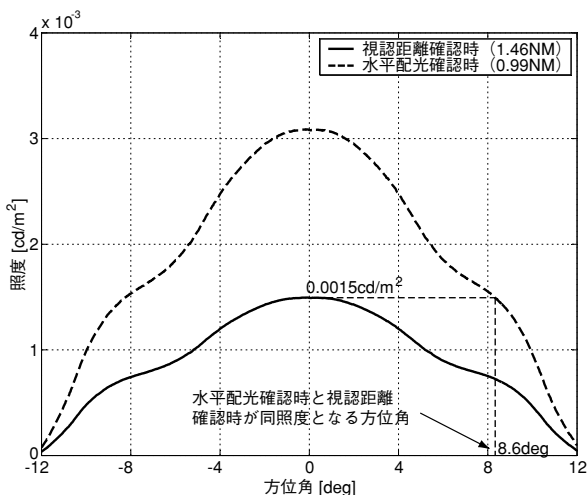


図 4.10 HAPI の水平方向の照度分布と水平配光限界

GPS受信機による測位解の誤差の不連続な変化に起因すると思われる。PLASIの灯火を視認した時の光源パターンは白点滅で、視認距離は3.64NM(約6700m)とHAPI(約2700m)の約2.5倍であった。PLASIの光度がHAPIの約5.5倍あり、照度が光度に比例し、距離の2乗に反比例することから、同程度の照度になる距離で視認できたことになる。

(2) 垂直配光確認

図4.8に示した垂直スweepの結果から、光源パターン境界線の角度について飛行試験による計測値を表4.3に示す。ただし、灯火から1NM離れた点における垂直配光の下限は高度約10ft(3m)で低過ぎるために計測できなかった。適正経路である白不動光の中心の水平面からの仰角は3.11度と推算された。一方で、光源パターン幅を比較すると、飛行計測値は白不動光がやや狭く、また、赤不動光がやや広がっているが、その差は4.5節に示した誤差以内である。

(3) 水平配光確認

図4.9に示した水平スweepの結果から、PLASI26の水平配光は灯火に正対して右側が6.31度、左側が8.70度であり、水平配光視認幅は15.00度である。図4.11に光度分布(メーカー公表値)から求めた灯火の水平方向の照度分布を示す。この図から水平配光確認時(灯火から1.01NM)における水平配光限界を推定すると7.3度となる。従って、配光視認幅は地上検査値である14.60度、および飛行試験結果の15.00度とよく一致している。一方、水平配光の中心がRWY26に対して左に1.20度ずれている可能性も確認できた。2.2節で述べたようにPLASIにつ

表 4.3 PLASI26 光源パターン境界の水平面からの仰角と光源パターン角度幅

光源パターン境界	仰角 [deg]	光源パターン	パターン幅 [deg]
白点滅→無	5.92	—	—
白不動→白点滅	3.22	白点滅	2.70
指示進入角 (白不動の中心)	3.11	白不動	0.21
赤不動→白不動	3.00	赤不動	0.35
赤点滅→赤不動	2.65	—	—

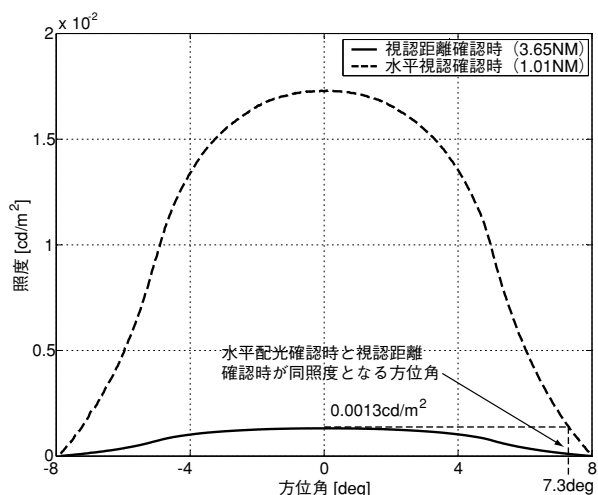


図 4.11 PLASIの水平方向の照度分布と水平配光限界

いては国内では設置基準が無いが、4.4.1(3)節のHAPIと同様に考えると運用上の問題は無いと考えられる。

(4) 進入角維持精度

図4.7に示したアプローチの結果において、灯火を視認してから滑走路座標系高度150 ft (45.72m) までの間で進入角の時間平均を求めると3.04度であり、また最大値は3.27度、最小値は2.83度であった。表4.3に示した垂直配光確認試験から、白不動光の中心として指示進入角を求めると3.11度であり、これをILSのグライドスロープと見なして飛行結果の偏位量をILSポイントの指示値に換算すると、平均値が0.19dot、標準偏差が0.29dotとなる。これにより、PLASIの指示に従ってILSと同様に精度良く進入できることが確認できた。

4.5 飛行計測データの誤差要因

本試験における誤差要因として、以下の項目が挙げられる。

(1) 機体位置計測誤差

機体位置計測に用いた機体搭載のDGPS/INS複合システムの仕様精度は、本試験のように海上保安庁のDGPS

地上局補正情報を用いた場合、水平方向で1m、鉛直方向で2mである。これは、水平スイープ、垂直スイープを実施した灯火から1NM (1852m) の点では、水平方向に0.03度、垂直方向に0.06度に相当する。

(2) イベント・スイッチ押下誤差

パイロットが光源パターンの変化を視認してから、イベント・スイッチを押下するまでの時間遅れによって推定した配光角度に誤差が生じる。表4.4に各配光確認においてイベント・スイッチを押下した瞬間の速度の水平配光確認では水平成分、垂直配光確認では垂直成分から時間遅れ1秒あたりの角度誤差に換算した値を示す。

本試験で得られたデータにはこのような誤差が含まれており、数字上は有意な誤差であるが、本稿で示した結果への影響は小さい。

4.6 パイロット・コメント

今回の飛行試験において以下のようなパイロット・コメントを得た。

全般

- ・ 視程の良い条件では、飛行場内に設置されたヘリポートに着陸する時には効果が明確ではなかった。しかし、周囲に参照物の少ないビル屋上のヘリポートなどでは有用と思われる。
- ・ HAPI, PLASIともに昼間の試験だったため、より明るい方が視認性が改善されると考えられる。

HAPI

- ・ 赤色は視認しやすかった。
- ・ 緑色の灯火が背景となる周囲の色に溶け込んで視認しにくい。ただし、実施日が6月であり、最も周囲の緑色が濃くなる時期であった。
- ・ 視認開始が緑色だと視認の判断が難しい。

PLASI

- ・ 白色、赤色は視認しやすかった。
- ・ 赤不動の範囲が狭く、コレクティブ・スティックの修正量が大きくなってしまった。

表 4.4 イベント・スイッチ押下遅れ1秒あたりの配光角度推定誤差

灯火		HAPI		PLASI	
		対地速度 [m/s]	角度誤差 [deg/s]	対地速度 [m/s]	角度誤差 [deg/s]
水平配光	右	5.94	0.18	5.28	0.16
	左	3.33	0.10	1.72	0.05
垂直配光	緑(白)点滅→無	3.39	0.10	2.08	0.06
	緑(白)不動→緑(白)点滅	2.23	0.07	1.20	0.04
	赤不動→緑(白)不動	2.33	0.07	1.74	0.05
	赤点滅→赤不動	2.20	0.07	2.06	0.06

5. おわりに

航技研所有の実験用ヘリコプタおよび実験用飛行機を用いて大樹町多目的航空公園に設置された進入角指示灯の飛行評価を実施し、以下の結果を得た。

- ・ 大樹に設置した HAPI および PLASI が仕様を満たしていることを確認した。
- ・ 灯火の緑または白を視認できたのは、HAPI は 1.5NM (2700m)、PLASI は 3.6NM (6700m) であった。ただし、昼間の試験であったことに加えて、灯火の背景となる地面の緑が最も濃くなる季節であったことに注意が必要である。なお、夜間では両指示灯とも 5NM (9300m) 以上から視認可能であった。
- ・ 緑 (白) 不動光の中心として求めた指示進入角の計測値は、HAPI26 は 6.1 度、PLASI26 は 3.1 度であった。設定値は、HAPI は 6 度、PLASI は 3 度であり、計測値との差は計測誤差以内であった。
- ・ 水平配光の視認限界は、HAPI26 が右 10.6 度、左 7.5 度で、PLASI26 は右 6.3 度、左 8.7 度であり、光度分布から推定した値とよく一致していた。また、水平配光の中心が HAPI26 では右に 1.6 度、PLASI26 では左に 1.2 度ずれている可能性も確認できた。しかし、HAPI が設置基準⁴⁾を満たしており、水平配光の中心付近では光度の変化が小さいこと、HAPI が高度方向の誘導を目的としていることから設置基準上も運用上も問題は無い。また、設置基準が定められていない PLASI に関しても HAPI と同様に考えると問題は無いと考えられる。
- ・ アプローチの結果において、灯火を視認してから高度 150ft (46m) までの進入角は、HAPI08 では平均 5.9 度 (最大 6.1 度、最小 5.7 度)、PLASI26 では平均 3.0 度 (最大 3.3 度、最小 2.8 度) であった。従って、HAPI および PLASI の指示に従って精度良く進入できることが確認できた。
- ・ 光度分布から照度を推定すると、水平配光の視認限界

と、視認距離確認時の視認限界では同程度の値となり、パイロットによる視認の基準は一定していた。

- ・ 灯火の背景の状態 (積雪、芝生など) によって、日中の灯火の視認性が影響を受けるため、設置・運用時には配慮が必要である。

謝 辞

飛行試験の実施に際し、北海道大樹町の関係各位の全面的な協力を得た。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) STOLプロジェクト推進本部飛行試験室,「PAPIシステムの飛行評価試験」,航空宇宙技術研究所資料 TM-592, 1988 年.
- 2) MuPAL- α 開発チーム,「多目的実証実験機 MuPAL- α の開発」,航空宇宙技術研究所資料 TM-747, 2000 年.
- 3) 奥野善則, 又吉直樹, 照井祐之, 若色薫, 穂積弘毅, 井之口浜木, 船引浩平,「実験用ヘリコプタ MuPAL- ϵ の開発」,航空宇宙技術研究所資料 TM-764, 2002 年.
- 4) 国土交通省航空局監修,「航空六法 平成 14 年版」,鳳文書林出版販売, 2002 年.
- 5) 又吉直樹, 奥野善則, 井之口浜木,「実験用ヘリコプタ搭載 DGPS の測位精度等評価飛行実験」,航空宇宙技術研究所報告書 TR-1460, 2003 年.
- 6) 船引浩平, 飯島朋子, 村岡浩治, 若色薫,「トンネル型表示方式のヘリコプタへの適用」,第 39 回飛行機シンポジウム, 岐阜, 2001 年 10 月.
- 7) 奥野善則, 又吉直樹, 穂積弘毅, 船引浩平, 横山尚志,「実験用ヘリコプタ MuPAL- ϵ によるメガフロート空港評価飛行実験—第 1 回 ILS 等評価実験—」,航空宇宙技術研究所 TR-1429, 2001 年.

独立行政法人航空宇宙技術研究所資料 773 号

平成 15 年 8 月発行

発行所 独立行政法人 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町 7-44-1
電話 (0422) 40-3935 〒182-8522
印刷所 株式会社 実業公報社
東京都千代田区九段北 1-7-8

© 2003 独立行政法人 航空宇宙技術研究所

※本書(誌)の一部または全部を著作権法の定める範囲を超え、無断で複製、複製、転載、テープ化およびファイル化することを禁じます。
※本書(誌)からの複製、転載等を希望される場合は、情報技術課資料係にご連絡下さい。
※本書(誌)中、本文については再生紙を使用しております。

