

ISSN 0452-2982
UDC 629.629.7.058;
629.7.058

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-579

STOL実験機用PAPIの設置と性能試験結果

村 上 義 隆 ・ 照 井 祐 之 ・ 花 松 武 志
斉 藤 健 二 ・ 横 山 晋 太 郎 ・ 稲 垣 敏 治

1988年1月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

担 当 者 一 覧

執 筆 村 上 義 隆* 花 松 武 志** 斉 藤 健 二**
稲 垣 敏 治*

計画・調査 照 井 祐 之* 村 上 義 隆* 稲 垣 敏 治*

設計・技術 村 上 義 隆* 照 井 祐 之* 花 松 武 志**
斉 藤 健 二**

工事監督 花 松 武 志** 斉 藤 健 二** 横 山 晋太郎*

* 飛行実験部 ** 管理部

STOL実験機用PAPIの設置と性能試験結果†

村 上 義 隆* 照 井 祐 之* 花 松 武 志**
斉 藤 健 二** 横 山 晋 太 郎* 稲 垣 敏 治*

The Establishment and Performance Test of PAPI (Precision Approach Path Indicator System) for NAL QSTOL Aircraft

Yoshitaka MURAKAMI, Yuushi TERUI,
Takeshi HANAMATU, Kenji SAITOU
Shintarou YOKOYAMA and Toshiharu INAGAKI

ABSTRACT

Flight tests of NAL QSTOL experimental aircraft are being conducted at Gifu airfield.

The PAPI system was placed at the left side of runway 28 at Gifu airfield as a visual approach guidance aid for both STOL and CTOL landings. This system is composed of eight-light units arranged in a line perpendicular to the runway.

The beam angle of four units is set at six degrees for STOL approach and that of the other four units is set at three degrees for CTOL approach.

This paper summarizes the establishment and performance test results of the PAPI system.

1. ま え が き

精密進入経路角指示装置 (Precision Approach Path Indicator 以下 PAPI) は従来の視覚進入角指示装置 (Visual Approach Slope Indicator System 以下 VASIS) にかわる装置として英国王立航空研究所で開発され、1982年 ICAO で採択された新しい視覚援助装置で欧米諸国においては順次設置運用が行われている。

当所においては昭和58年度より調査研究を実施し、昭和61年12月に岐阜飛行場内に設置を行った。

PAPI は昭和62年度より低騒音 STOL 実験機「飛鳥」の各種着陸進入試験に於いてパイロットに進入角 6° と 3° (調整可能範囲 2° ~ 10° 迄) の精度の良い進入経路角情報を与える実験用支援装置として使用する事を目的としている。灯火指示器の設置状況は写真の通りである。

† 昭和62年12月14日受付

* 飛行実験部

** 管理部

2. 略号及び記号

B-S, B-H : Both Side & Both Hand
 B-S, S-H : Both Side & Single Hand
 CIE : Commission International De
 Leclairage (国際照明委員会)
 CR_{min} : 滑走路末端における航空機の車輪クリ
 アランス (m)
 CTOL : Conventional Take off and Landing
 D1 : 滑走路勾配 0 での末端からの距離 (m)
 EW_{max} : 進入する航空機 (NAL 式 STOL-1 型
 機) のパイロットの目と車輪との高さ
 の差 (m)
 FAA : Federal Aviation Administration
 (米国連邦航空局)
 FAR : Federal Aviation Regulation
 (米国連邦航空局基準)
 ICAO : International Civil Aviation Organi-
 zation (国際民間航空条約機構)
 ILS : Instrument Landing System
 JCAB : Japan Civil Aviation Bureau
 (運輸省航空局)
 ME : 末端上でのパイロットの最低の目の高
 さ (m)
 ME=MEHT
 Minimum Pilots Eye Height Over
 The Threshold
 MLS : Microwave Landing System
 PAPI : Precision Approach Path Indicator
 System
 PL : 滑走路縦横断勾配を補正した時の
 PAPI の設置位置 (m)
 PL₀ : 滑走路末端から PAPI 灯器設置位置原
 点までの距離 (m)
 PLASI : Pulse Light Approach Slope Indi-
 cator
 RWY : 滑走路
 STOL : Short Take off and Landing
 TCH : Threshold Crossing Height
 TH : 滑走路末端

VASIS : Visual Approach Slope Indicator
 System
 e : Elevation Difference Between Tre-
 shold and Runway Reference Point
 h : PL₀ での滑走路中心高さと滑走路縁の
 平均高さとの差 (m)
 u' : 色度座標 u' (1976 CIE 色空間)
 v' : 色度座標 v' (1976 CIE 色空間)
 x : 色度座標 x (1931 CIE 色空間)
 y : 色度座標 y (1931 CIE 色空間)
 α : 滑走路縦勾配 (進入方向から見て下り
 勾配を+とする) (deg)
 β : u', v' 座標より得られるベクトル量
 θ₁ : PAPI オンコース信号の下限の角度
 (deg)



写 真

3. 概 要

PAPIは航空機の着陸の安全を確保するのに必要な長い安定した視覚進入情報を灯火により与え、パイロットが所望の進入角で着陸進入できるようにしたものである。

PAPIは適切な進入角を保つためのガイダンスとして、現在日本で採用されているVASISと同じ、赤色及び白色の光による視覚信号の原理を使用している。

本質的相異は灯火ユニットの数、配列、それらの指示を判断する方法である。PAPIの特長は鋭い転移層を持っている為精密進入が可能であり、ガイダンスリミットをスレッシュホールドまで可能にしている点である。

VASISは通常約15分のピンク層を経て信号が白から赤（赤から白）に変化するのに対してPAPIの場合は2分～3分の大変鋭い転移層を有している。

パイロットはこの精密な経路角指示情報を用いて航空機を所望の進入経路角を保ち、接地直前まで使用することが可能である。

本装置の進入角設定は 2° ～ 10° の範囲で可変な性能を有しているが、設置時に於ける進入角設定はCTOL機用 3° 、STOL機用 6° として地上機能確認試験を実施した。

本稿では、その調査結果、システム構成、機能、設置方法、性能試験の結果について述べる。

表1-1 着陸進入経路角指示装置

	装置名 (認定機関)	設定経路角	設置方式
無線指示装置	MLS (ICAO (システム統一完了, 1985認定) FAA)	任意選択 (航空機側)	設置基準による
	ILS (ICAO FAA JCAB)	2° ～ 3° 固定	設置基準による
視覚指示装置	VASIS (ICAO FAA JCAB)	2° ～ 3° 固定	3 BAR 方式 2 BAR 方式 TBAR 方式
	PAPI (ICAO FAA JCAB 開発中)	2° ～ 3° 4° ～ 7° 7° 以上	2 BAR 方式 1 BAR 方式
	PLASI (FAA)	任意設定可能	SINGLE BAR 方式

4. 経 緯

STOL 実験機の着陸進入試験における進入角ガイダンスの必要性より進入角指示装置の選定作業を昭和58年度より行った。

進入角指示装置には表 1-1 の通り無線指示装置と視覚指示装置による方法がある。

STOL 実験機用の目的にかなった高角度の正確で安定した性能を持つ指示器であり、操作が容易にでき実験機側に装備機器が不要な条件を満足す

る装置について検討を進めた結果、視角指示方式による装置とすることとした。視覚指示装置には、VASIS（在来方式）、PAPI、PLASI 等の装置がある。

表 1-2、VASIS と PAPI の比較表及び図 1 の性能より、さらに昭和58年10月仙台での、「PAPI の見え方実験」（運輸省開発中）に参画し PAPI の有効性を確認した結果 PAPI を選定することとした。STOL 実験機用視覚進入角指示装置として PAPI を決定してから領収迄の経緯は表 2 に示す

表1-2 VASIS と PAPI の比較

視覚援助装置 項目	VASIS（設置基準）	PAPI
光 度	白 3万2千カンデラ 赤 6千カンデラ	白 10万カンデラ 赤 1万5千カンデラ
視覚信号	5段階 (25, 5, 1, 0.2%) 白, 赤	2~5段階 (将来7段階) 白, 赤
設置場所	B-S, B-H (日本) B-S, S (左) -H (米国)	B-S, B-H (ロールガイダンス) ○ B-S, S (左) -H (ICAO)
設置方式	3 BAR 方式 2 BAR 方式 (T BAR 方式)	2 BAR 方式 ○ 1 BAR 方式 (ICAO)
設定進入経路 (仰角巾)	2°~3°	○ 2°~3° (20') ○ 4°~7° (30') 7° (1°)
コース巾	灯列間隔	20'
鉛直巾	7m 86cm (一定)	10m 60cm (1NM)
水平巾	150m (一定)	191m 68cm (1NM)
転 移 層	15'	2'~3'
鉛直巾	7m 85cm (1NM)	1m 57cm (1NM)
水平巾	150m (1NM) - (約 5 秒)	30m (1NM) - (約 1 秒) (ICAO)
配 光	上下 1°30' 方位角 (昼間) ±10° (夜間) ±15°	上下 1°30' 方位角 (昼間) ±10° (夜間) ±15°
有効高度	約 50ft	約 40ft (ICAO)
降下角指示性	(昼間) 7.4km	(昼間) 4NM (7.2km)

○ NAL PAPI

コース幅と転移層

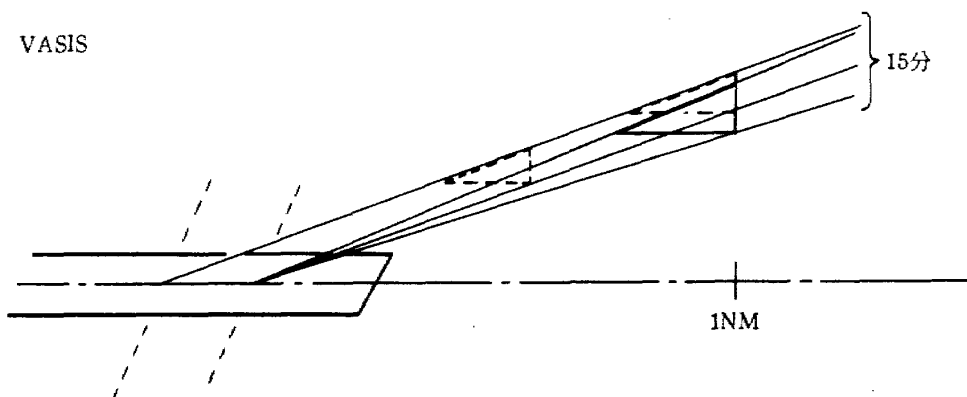
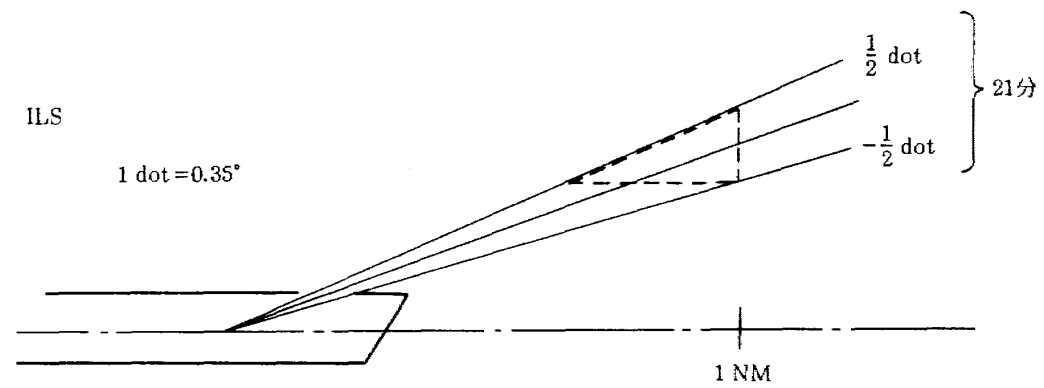
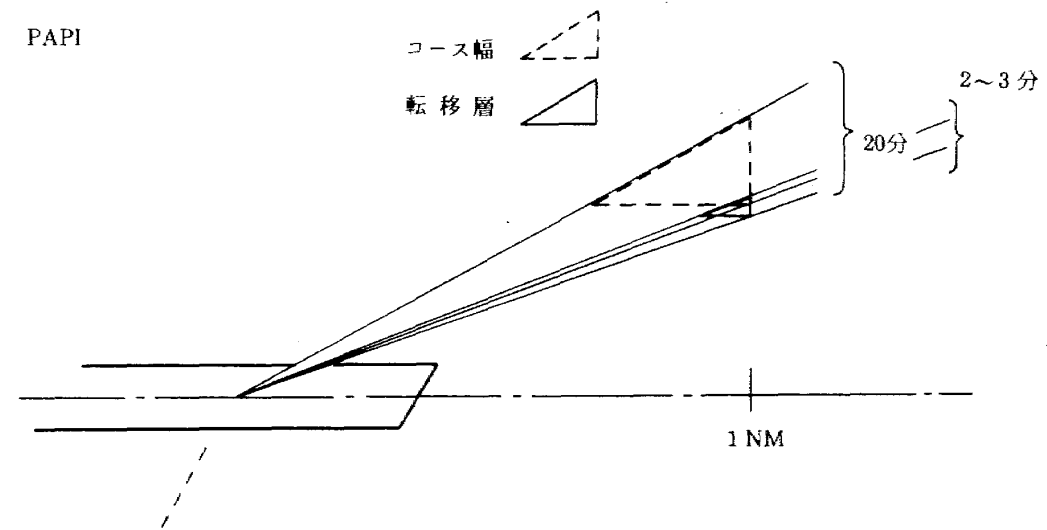
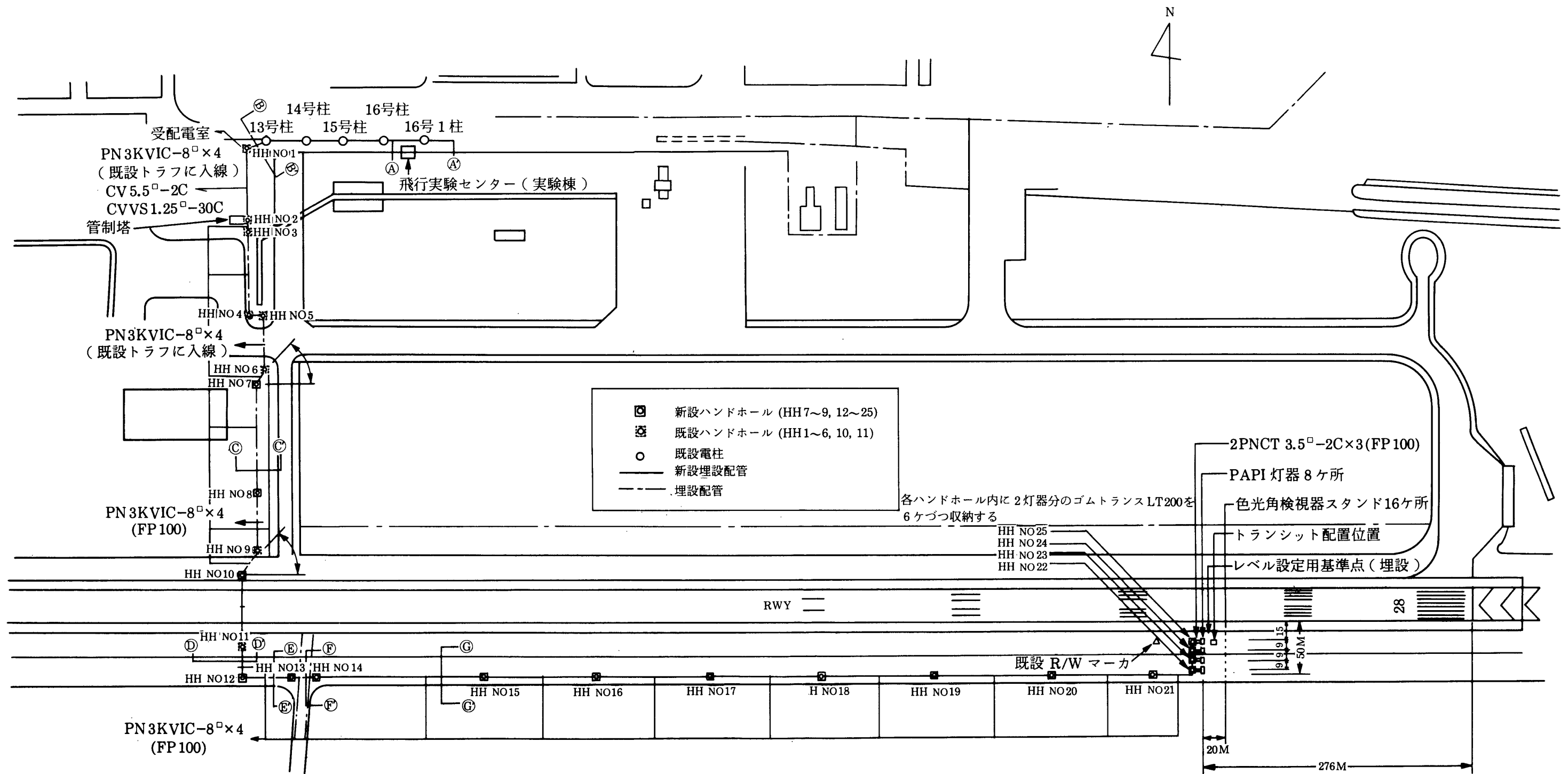


図1 性能

表 2 経 緯

年	58	59	60	61	62
月10月..... 5月.....10月..... 3月..... 2月..... 3月..... 4月..... 7月.....10月.....12月..... 1月.....
実 施 項 目	<p>＜PAPIの見え方試験＞ （仙台空港）</p>	<p>＜PAPI選定報告会＞ VASIS見学 （名古屋空港）</p> <p>＜PAPIシステム設計＞</p>	<p>完了 （技術審査）</p>	<p>＜PAPI評価試験見学＞ （羽田空港）</p> <p>＜PAPI随契審査会＞</p> <p>＜PAPI灯器盤関係製作＞</p> <p>＜RWY測量作業＞</p> <p>＜配線埋設工事＞</p> <p>＜灯器設置＞</p> <p>＜地上機能確認試験＞</p> <p>＜領収＞</p> <p>＜運用開始＞</p>	<p>＜飛行試験＞</p>



通りであり、昭和61年12月に設置工事を完了し、62年3月より運用を開始した。

5. 機器の配置

灯火指示器（以下灯器）の配置はRWY 28左側滑走路末端から276m内側の位置にSTOL用灯器 $S_1S_2S_3S_4$ とCTOL用灯器 $C_1C_2C_3C_4$ を一列に配置し主として岐阜管制塔（副として実験センター）より灯火のON-OFF、及び輝度調整並びにCTOL/STOLの選択制御、その他各種の監視を行う事ができるようにした（図2全体配置図参照）。PAPI関連機器の配置は、表3及び図3の通りである。

6. 灯器設置位置

(1) 灯器設置位置検討

滑走路末端より306mの位置（ICAOデザインマニュアル8.4.17より算定した値）は、当初の設置計画位置で仰角 3° におけるスレッシュホールド

でのMEHT (14.9m)よりホイールクリアランス9m以上を満足する位置であったが、実地測量調査の結果、既設ディスタンス・マーカとの物理的干渉が明らかとなりノミナル位置に設置できなかった。

又、当該マーカの後方位置に設置した場合、ディスタンス・マーカより60m以上後方位置にしなければならず有効使用滑走路長が短くなり可能

表3 機器の配置

	機 器 名	配 置 場 所
1	定電流源操作盤 C/S 切換盤 定電流調整盤	航技研飛行実験センター
2	監視盤	
3	監視操作盤	岐阜管制塔
4	灯火指示器	RWY 28側

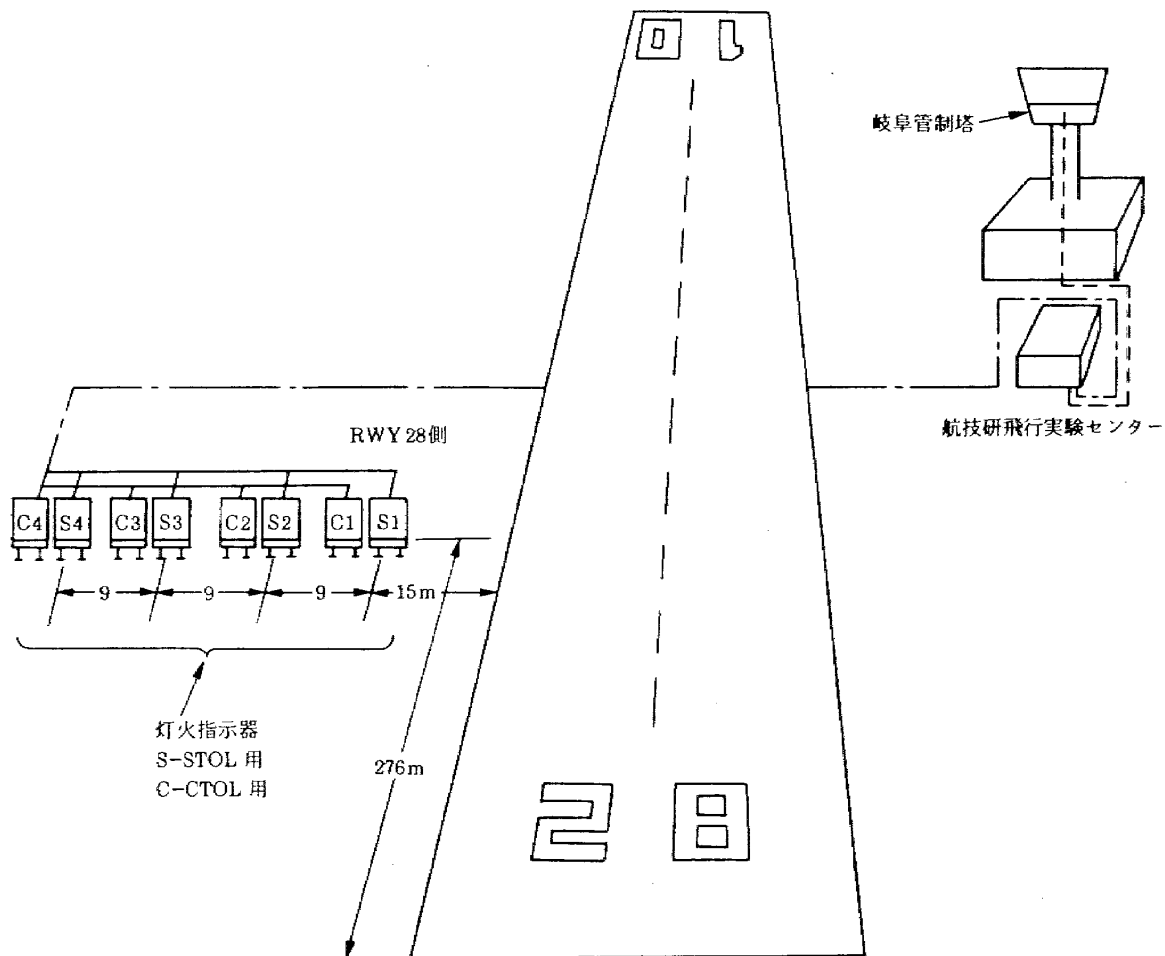


図3 機器配置

な限り長くとることが安全上必要とされる事から前方に配置することとした。

$D_1=250\text{m}$ の位置は、CTOL 灯器を仰角 2.5° に設定した場合でも MEHT が STOL 機の眼対車輪高 (5.02m) の 2 倍 (10.04m) となり ICAO デザインマニュアル 8.4.18 項を満足する設置位置になる。設置計画通り CTOL 灯器の設定仰角を 3° にした場合は(1)式及び図 4 より MEHT は 12.23m となり、スレッシュホールドホイールクリアランスは 7.21m となる。

以上より有効使用滑走路を最も長く使用できる位置としてスレッシュホールドより $D_1=250\text{m}$ の位置を PAPI の設置位置とした。

又、設定進入角 6° の場合の MEHT とホイールクリアランスを表 6 及び、図 5 に表わしてある。

(2) 整合性

$D_1=250\text{m}$ に PAPI を設置した場合の ICAO

8.4.18 項と、航空機との整合性の関係は表 4 の通りであり、仰角設定を 2.5° にした場合でも現在岐阜飛行場で運用中の航空機との整合性は満足する事になる。

(3) 設定進入角 3° での MEHT とホイールクリアランス

RWY 28 スレッシュホールドより滑走路内水平距離 250m の位置より設定進入角 3° の視覚情報を出した時のスレッシュホールドでの MEHT とホイールクリアランスを計算すると、MEHT の結果は(1)式、及び図 4 の通りである。又、ホイールクリアランス及びパイロットアイハイトは表 5 に示す。

(4) 設定進入角 2.5° での MEHT とホイールクリアランス

(2)式は設定進入角を試験の為 2.5° に変更した場合の MEHT の値であるが、計算結果は 10.04m となり、ICAO 基準書に言う 2 倍の EW 値に相当す

表 4 航空機との整合性

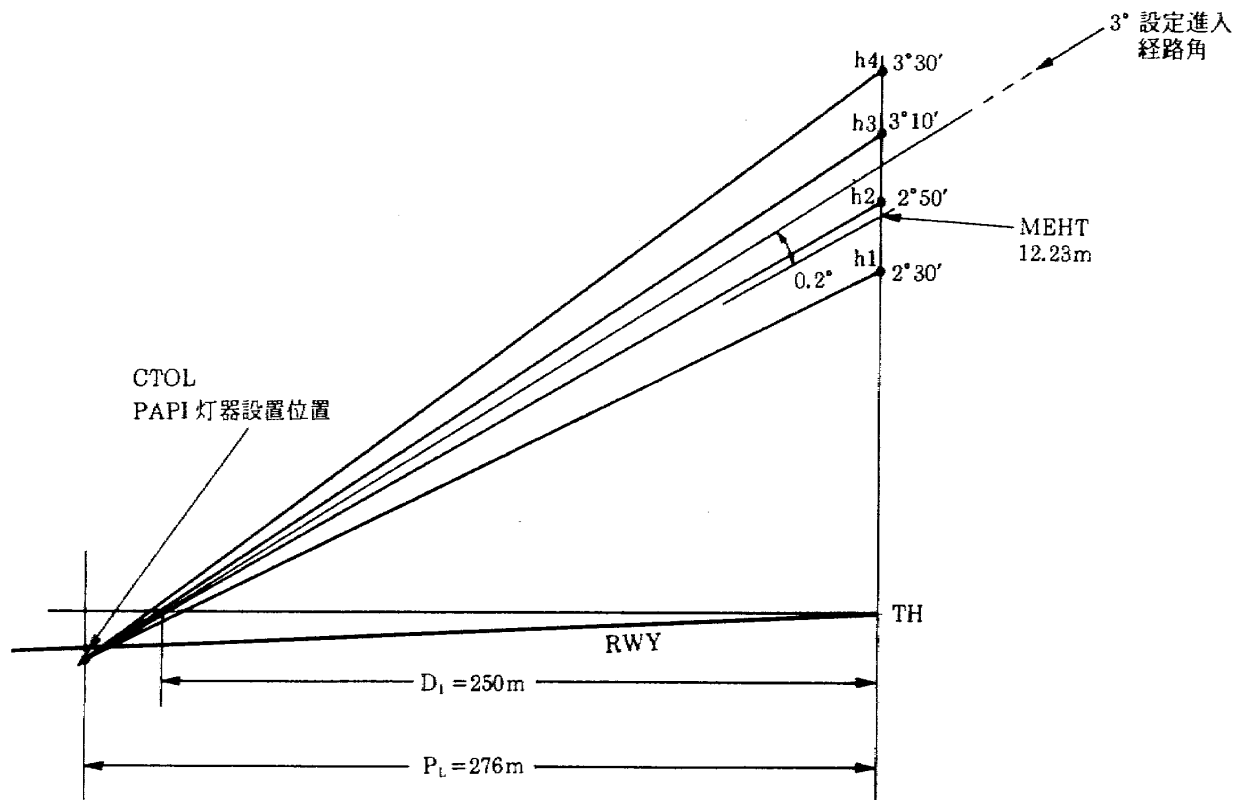
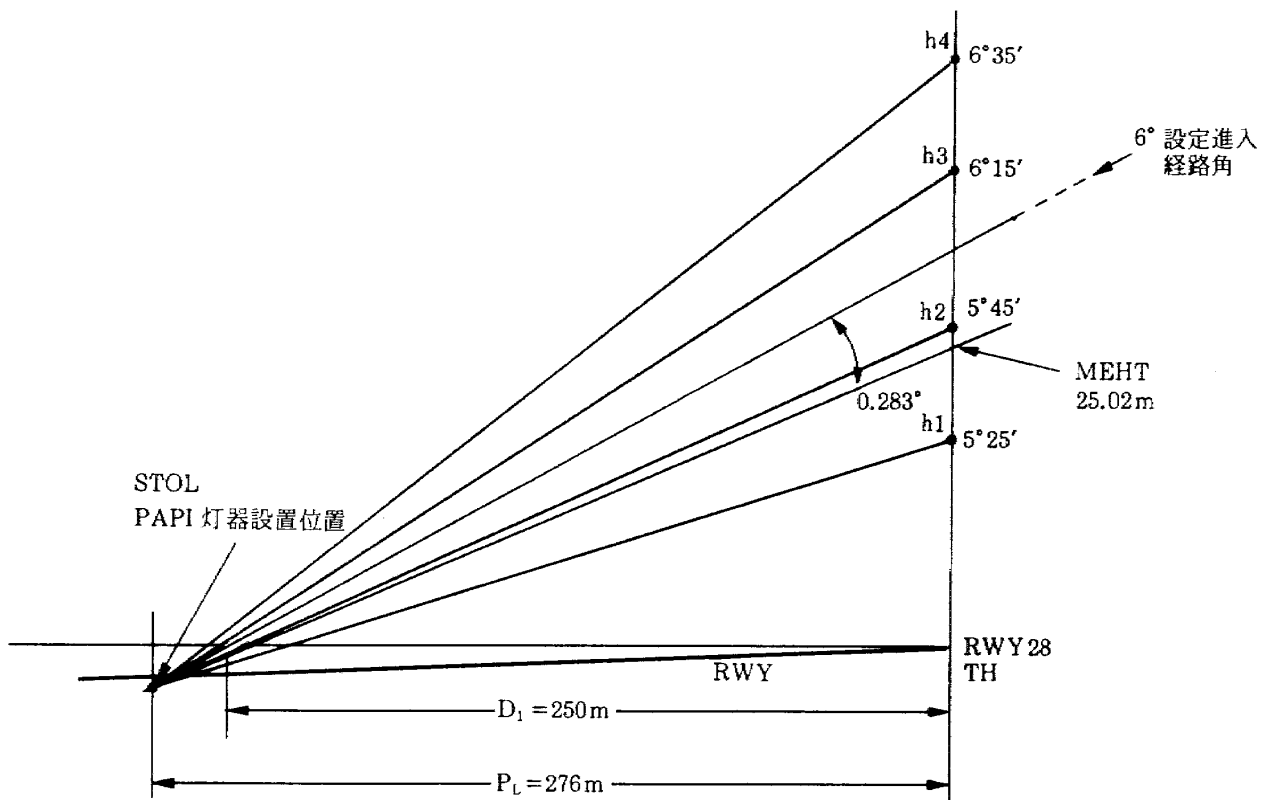
項目 \ 航空機	C-1	P2J	C130	YS11	P3C	B737	B747
眼 対 車 輪 高	5.02m	4.63	4.13	4.25	4.8	5.5	13
整 合 性	○	○	○	○	○	×	×

表 5 ホイールクリアランス及びパイロットアイハイト

	仰 角	ホイールクリアランス (m)	パイロットアイハイト (m)
h4	$3^\circ 30'$	10.3	15.29
h3	$3^\circ 10'$	8.8	13.83
h2	$2^\circ 50'$	7.4	12.37
h1	$2^\circ 30'$	5.9	10.91

表 6 ホイールクリアランス及びパイロットアイハイト

	仰 角	ホイールクリアランス (m)	パイロットアイハイト (m)
h4	$6^\circ 35'$	23.83	28.85
h3	$6^\circ 15'$	22.36	27.38
h2	$5^\circ 45'$	20.15	25.17
h1	$5^\circ 25'$	18.68	23.70

図4 設定進入角 3° での MEHT図5 設定進入角 6° での MEHT

る。

$$\text{MEHT } 3^\circ = 250 \tan (3^\circ - 0.2^\circ) = 12.23 \text{ m} \quad (1)$$

$$\text{MEHT } 2.5^\circ = 250 \tan (2.5^\circ - 0.2^\circ) = 10.04 \text{ m} \quad (2)$$

したがって 3° の場合のホイークリアランス

$$(\text{MEHT}) = 12.23 - 5.02 = 7.21 \text{ m}$$

である。

(5) 設定進入角 6° での MEHT とホイールクリアランス

(3) と同じ方法で設定進入角 6° の視覚情報を出した時のスレッシュホールドでの MEHT とホイールクリアランスを計算すると、MEHT の結果は (3) 式、及び図 5 に示す。

$$\text{MEHT } 6^\circ = 250 \tan (6^\circ - 0.283^\circ) = 25.02 \text{ m} \quad (3)$$

したがって、 6° の場合のホイールクリアランス

$$(\text{MEHT}) = 25.02 - 5.02 = 20.0 \text{ m}$$

(6) 滑走路勾配補正

前項(1), (2), (3)より RWY 縦方向横方向の勾配が 0 或いは基準値以内の条件を基に算定した CTOL 機用灯器 (安全上最もクリティカルな進入角 3°) での滑走路末端からの距離 D_1 、及び末端上の ME、CR は次の値を基準とした。

$$D_1 = 250 \text{ m}$$

$$\text{ME} = 12.23 \text{ m}$$

$$\text{CR}_{\min} = 7.21 \text{ m}$$

$$\text{EW}_{\max} = 5.02 \text{ m}$$

1) 滑走路縦断勾配の補正

滑走路縦断勾配を補正した PL_0 の値は図 6

(a) から (5) 式により求まる。

$$\text{PL}_0 \tan \theta_1 - \text{PL}_0 \tan \alpha = \text{ME} \quad (4)$$

$$\text{PL}_0 = \text{ME} / (\tan \theta_1 - \tan \alpha) = 270.7 \quad (5)$$

ここで

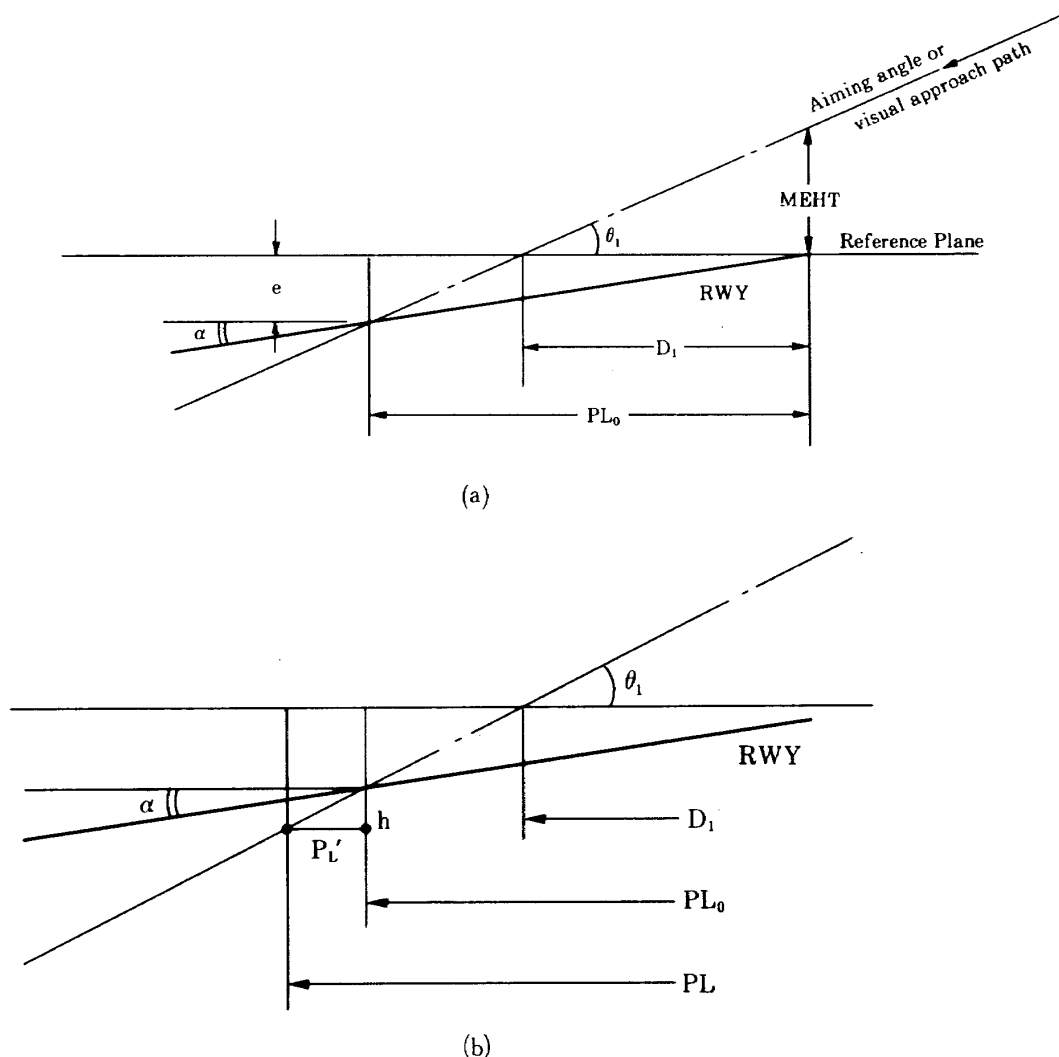


図 6 PAPI 設置位置迄の距離 PL_0 及び PL

$$ME = CR_{\min} + EW_{\max}$$

$$\tan \alpha = 0.0037 \quad \alpha = 0.217$$

$$\tan \theta_1 = 0.0489 \quad \theta_1 = 2.8$$

2) 滑走路横断勾配の補正

末端から PAPI 灯器原点までの距離 PL_0 は、滑走路中心線上と θ_1 の線との交点の値であるので PAPI 灯器設置位置で滑走路縁両側の平均高さに灯器の投光窓の中心の高さを一致させて設置する場合、滑走路中心の高さと滑走路縁両側の平均高さとの差を補正する必要があるため末端から PAPI 灯器設置位置までの距離 PL_0 は、図 6(b) から (7) 式により求まる。

$$PL' \tan \theta_1 - PL' \tan \alpha = h \quad (6)$$

$$PL' = h / (\tan \theta_1 - \tan \alpha)$$

$$PL = PL_0 + h / (\tan \theta_1 - \tan \alpha) \quad (7)$$

$$= 276.0$$

ここで $h = 0.223$

すなわち、安全な $CR_{\min} \approx 1.5 \times EW_{\max}$ になり着陸滑走路長が最も長く利用できる設置位置 $PL = 276.0m$ を PAPI 灯器の位置とした。

7. システム配置及び構成

PAPI システムの配置及び構成は図 3、図 7 に示すようになっており、システムの実操作は管制の一元化を図る為管制塔の監視操作盤により行う。

(2) 機器概要

PAPI システムブロックダイアグラムを図 7 に、定電流源操作盤、監視操作盤、監視盤は図 8～10 に示す。

8. 制御、監視装置の機能

システム構成の中で記述したように PAPI のシステム機器は定電流源操作盤 (C/S 切換盤、定電流調整盤)、監視操作盤、監視盤、灯器、灯器基礎及び検視板 (仰角目盛板) により構成されている。以下機能について述べる。

(1) 定電流調整盤 (CCR)

直列点灯回路にゴム絶縁変圧器を介して接続された複数の進入角指示灯に電流を供給するための装置で電流、電圧、周波数の変動もしくは負荷の

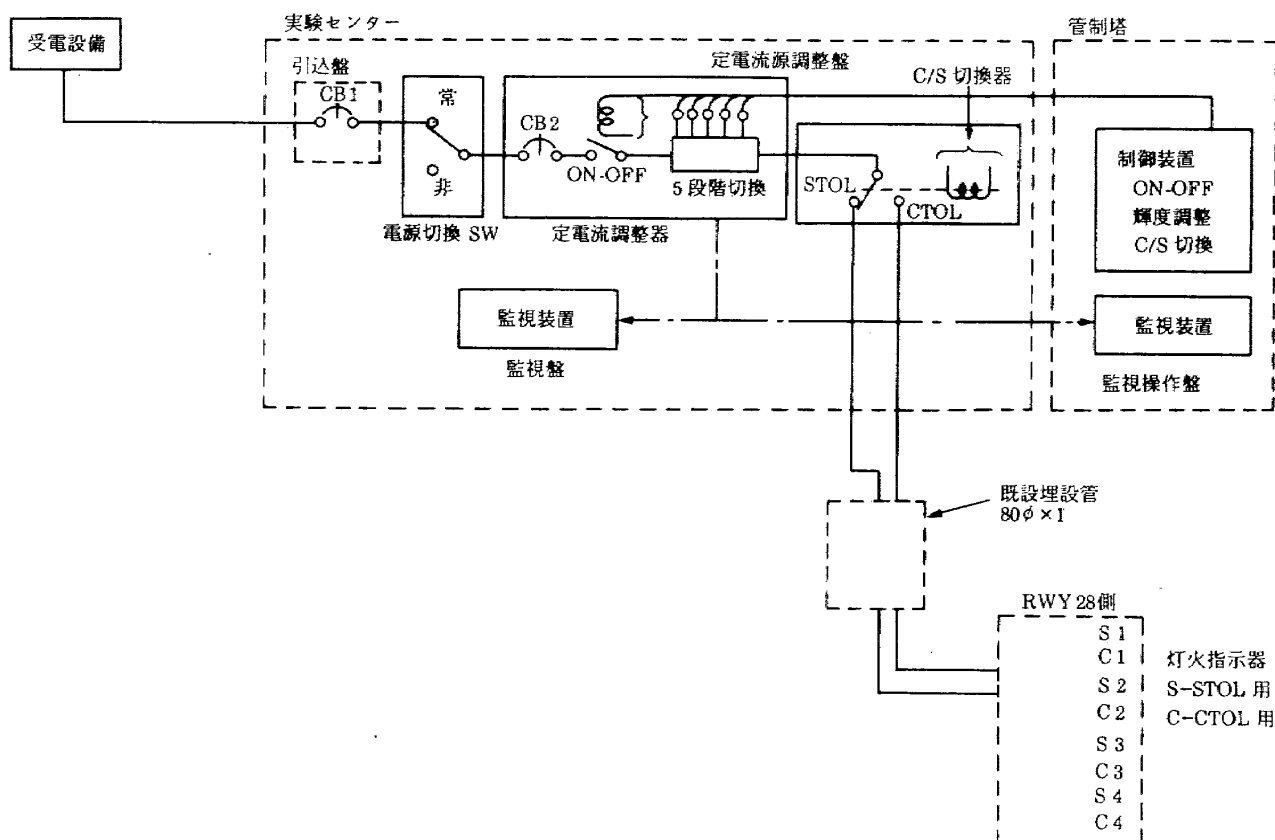


図 7 PAPI システム

表7 定 格

型式	種別	定格入力	定格容量	寸 法	備 考
SCR-5P	P型	1φ 200V 60Hz	5 KVA	W : 700 D : 1200 H : 900	出力装置 (D/P 型) と組み合わせ

表8 定 格

輝度選択区分	標準設定値(A)	入力電圧変動(V)	出力電流裕度(A)
5タップ型	6.6	定格入力電圧 ±10% 50Hzまたは 60Hz	6.6~6.0 ±0.1
	5.2		6.0未満 ±0.13
	4.1		
	3.4		
	2.8		

容量変動があっても、定電流出力を供給できる機能を有する装置で表7の性能を備えたものである。

- (a) CCRは表7、表8に示す定格及び輝度選択タップを備え2.8A~6.6Aの間で任意に設定できる。
- (b) CCRは1/4負荷から全負荷までの任意の負荷に対して表8に示した入力電圧の範囲内で規定の出力電流が確保できる。
- (c) CCRは負荷量の10%に相当する電球が断芯した場合も前項の要求に合致する。
- (d) 次の各条件下で出力電流が変化するとき変動特性は15Hz以内でラッシュ電流を防止する特性を備えている。
- 電源を投入したとき
 - 入力電圧を変化させたとき
 - 輝度タップを切換えたとき
- (e) 保護及び異常警報機能

CCRには次の保護機能及び警報機能を備えている。

- 開路保護
- 過電流保護
- 負荷回路異常警報
- サイリスター回路異常警報
- 異常パルス電圧保護

PAPIシステムの制御は定電流源操作盤（実験センター図8）及び監視操作盤（管制

塔図9）の2ヶ所より操作可能であるが、操作場所切換スイッチにより運用上は管制の一元化を図る為管制塔の監視操作盤より操作を行う事を原則としている。

商用或いは予備電源を選択された（予備は未設置）主幹電源の入力は実験センター内の定電流源操作盤に入る。灯器電流の操作は定電流調整盤及びC/S切換盤コントロールパネル内の「管制塔」を選択する事により制御権が優先することとした。パネル内の輝度調整は灯光の光度タップ選択スイッチである。光度の選択はタップ1（2.8A）、2（3.4A）、3（4.1A）、4（5.2A）、5（6.6A）の5段階切換えのロータリースwitchになっておりそれぞれの気象条件に対応できる様になっている。ON-OFFスイッチはCCRのON-OFFを現場で行うための自照式押ボタンスイッチで現場、管制塔いずれから操作してもON-OFF表示される。警告表示には開路、過電流、サイリスター異常（全短路）、負荷異常があり復帰用押ボタンスイッチリセットが設けられている。

電流表示は0~7.5A目盛の可動鉄片型指示電流計が取り付けてあり灯器点灯中の電流値を監視する事ができる。

受電表示は主電源の供給状態を示す表示灯

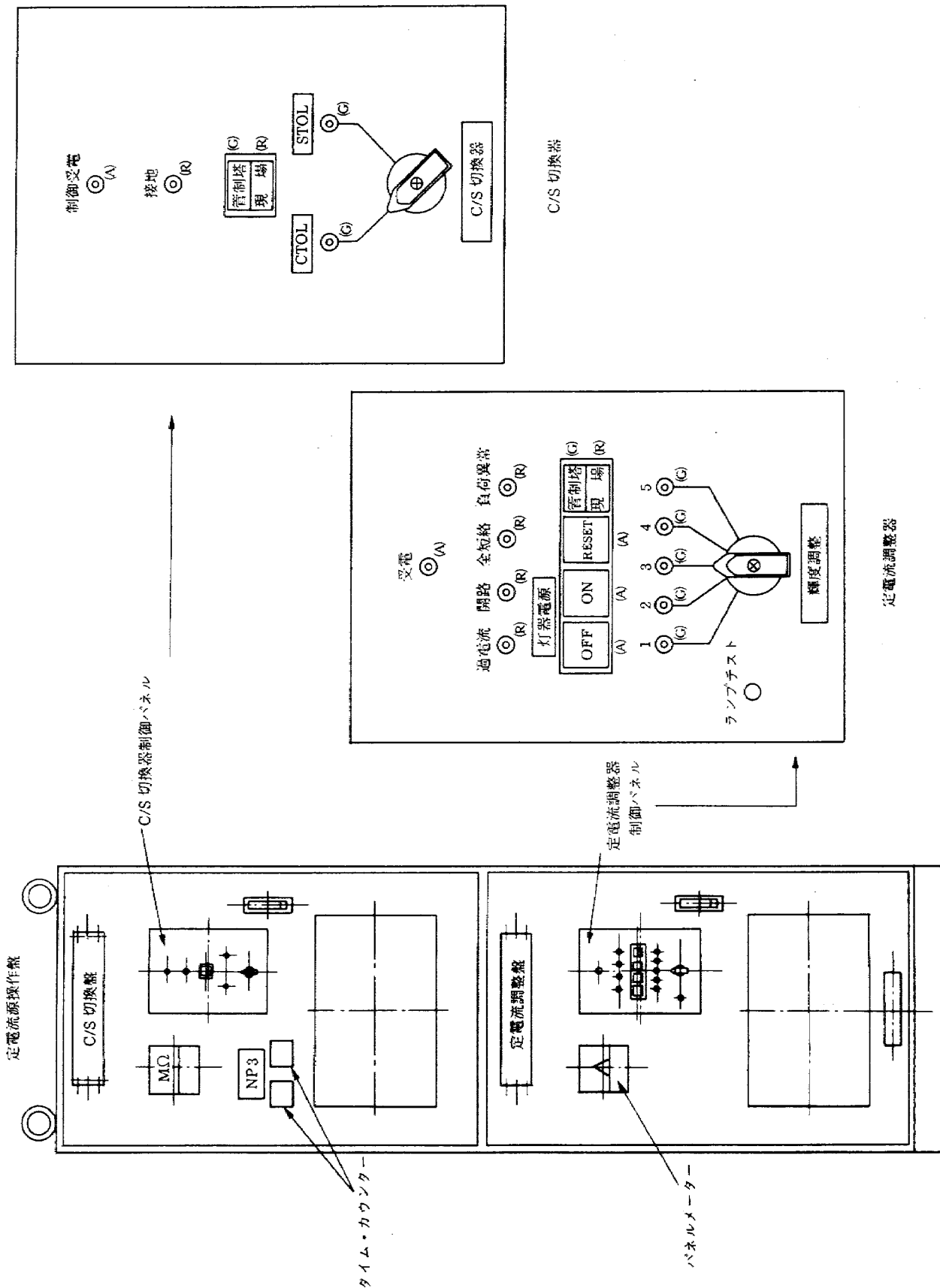


図 8 定電流源操作盤

の断芯をチェックするスイッチである。

(2) 出力装置 (C/S 切換器)

切換特性はまず現使用回路と選択する他の回路とを並列に接続し、接続が完全に完了してのち現使用回路を開放することにより選択する他の直列点灯回路に切替える性能を有する。定格及び保護機能は表 9 に示す。

(a) 保護機能

- 接地警報
- 雷サージ保護

C/S 切換器図 8 のコントロールパネルには CTOL 用灯器或いは STOL 用灯器のいずれを点灯使用するか切替えるを行う為の切換器で「現場」「管制塔」の切替スイッチ、線路接地表示ランプ、制御受電ランプにより構成されている。

(3) 監視操作盤

灯器 (PAPI) 運用の操作は、管制塔にて行うので次の操作スイッチ及び表示灯が設置されている。

(a) CCR の操作及び監視機能

- 電源の ON-OFF
- 出力電流切換スイッチ
- 出力電流計
- 受電表示
- 故障警報表示
- 操作場所表示 (管制塔 / 現場)

(b) C/S 切換器の操作及び監視機能

- C/S 切換スイッチ
- C/S 切換形態表示
- 故障表示

監視操作盤図 9 は基本的に定電流調整盤と同様監視、操作機能を持つもので管制塔に設置されている。相違点としては警報の「入」「切」の操作部分がある事と CTOL と STOL

の選択を間違えない様大きい表示パネルにしている事である。

又、管制塔内の明るさに応じて表示ランプを調整できる様「明-暗」のコントロールノブがついている。

(4) 監視盤

灯器の運用をモニターするため次の各表示灯が設置されている。

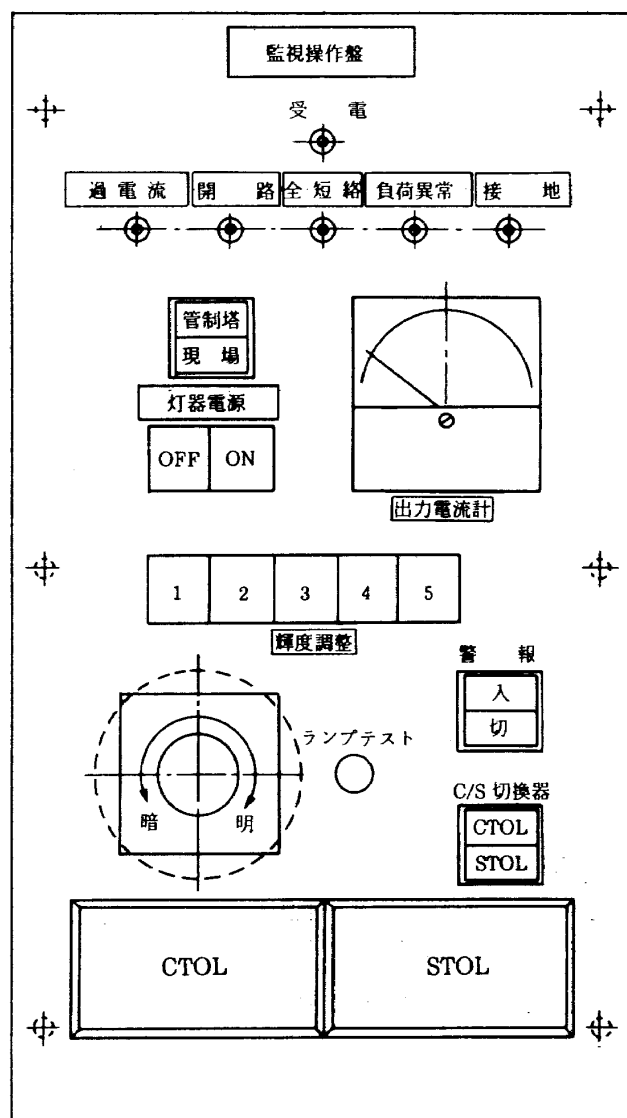


図 9 監視操作盤

表 9 定 格

型式	種別	回路構成	盤構成	寸 法	備 考
OP-D/P	D/P型	出力回路：2	単体型	W：700 D：1200 H：900	SCR-5 と 組み合わせ

(a) CCR の監視

- 電源 ON-OFF 表示
- 輝度タップ (1, 2, 3, 4, 5) 表示
- 受電表示
- 故障表示

(b) C/S 切換器の監視

- C/S 切換形態表示
- 故障表示

監視盤図10は実験センター内の統制室の壁に取り付けられ試験統制員が監視できるようになっている。監視機能としては受電表示、警報表示、灯器電源 ON-OFF、輝度調整、警報、C/S 切換表示を備えており、PAPIの運用状況の把握が統制室で可能となっている。

(5) PAPI 灯器及び基礎

PAPI 灯器の構成は図11の通りであり、灯器の

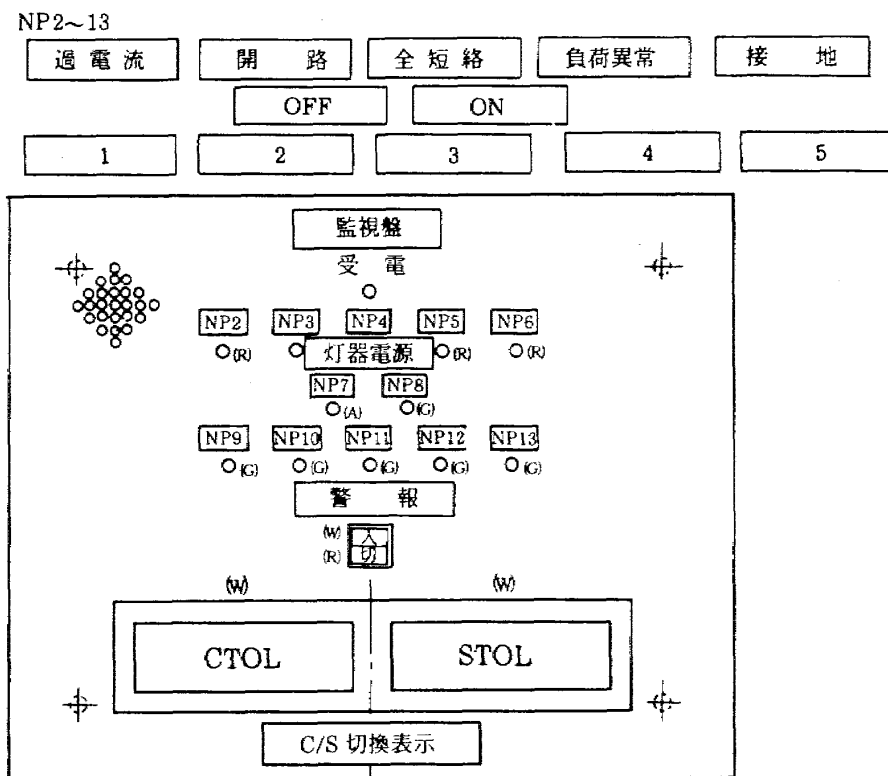


図10 監視盤

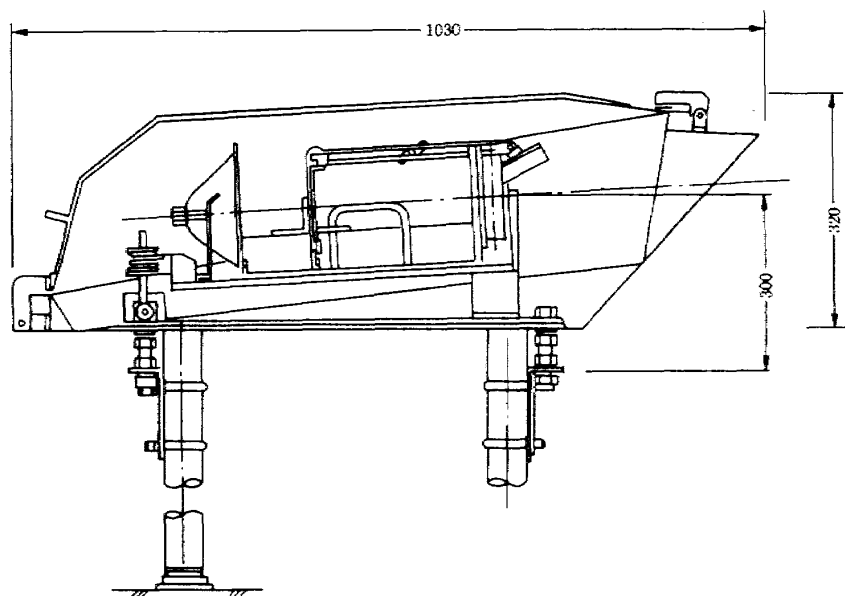


図11 PAPI 灯器側面図

原理はVASISの発展型で赤色光と白色光の視覚信号の原理を応用している。航技研で採用した灯器は1灯器3個のランプより成りフィルター及びレンズにより構成され上層白色光、下層赤色光を照射する。

灯器、ハンドホール及び検視板基礎(図12)については灯器設置以前に設置位置付近の地質調査を実施した結果、パイルを打つ必要も無い良質な地盤である事が判り基本的に基礎は図12のごとく捨コンの上にコンクリート基台を作りパイプで立上げアングルを組み立てた上に灯器を固定する方法を採った。又、四方に補強の為アングルを各パイプに接ぎ合せた。一番長い所でパイプの高さは1000mmを越えたが、アングルにより十分補強されている。又、ICAO基準により灯器は航空機に危害を与えない様脆弱性を備えなければならず、本灯器の場合もパイプの付根の部分が可折接手になっており基準以上の力(130kg×30cm)が加わると折れて航空機に危害を与えない様になっている。

9. 灯器の仰角設定及びPAPIの見え方

(1) 仰角設定

STOL実験機での着陸進入試験が予定されるのは、2°～10°の進入角範囲である事から全灯器の

指示範囲はこれを満足し、灯器の調整は0°～6°の範囲で仰角の設定が可能であり、設定精度は±1'以内である。完成時の仰角設定値は、表10に示す通りである。

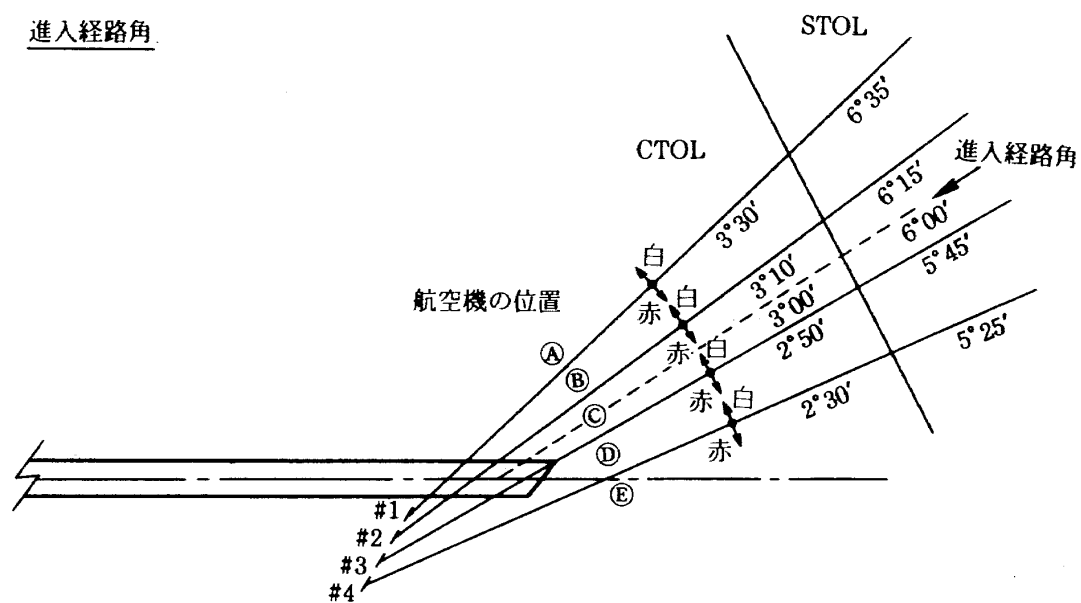
(2) PAPIの見え方

着陸進入中のPAPIの見え方は、航空機の進入角によって図13の①②③④⑤の様に、確認することができる(写真①～⑤、①'～⑤'参照)。

表10 完成時の仰角設定値

仰角 灯器		設 定 値
S T O L 用 灯 器	第1灯器	6°35'
	第2灯器	6°15'
	第3灯器	5°45'
	第4灯器	5°25'
C T O L 用 灯 器	第1灯器	3°30'
	第2灯器	3°10'
	第3灯器	2°50'
	第4灯器	2°30'

進入経路角



着陸進入中の航空機からの見え方 (C/STOL 着陸の場合)

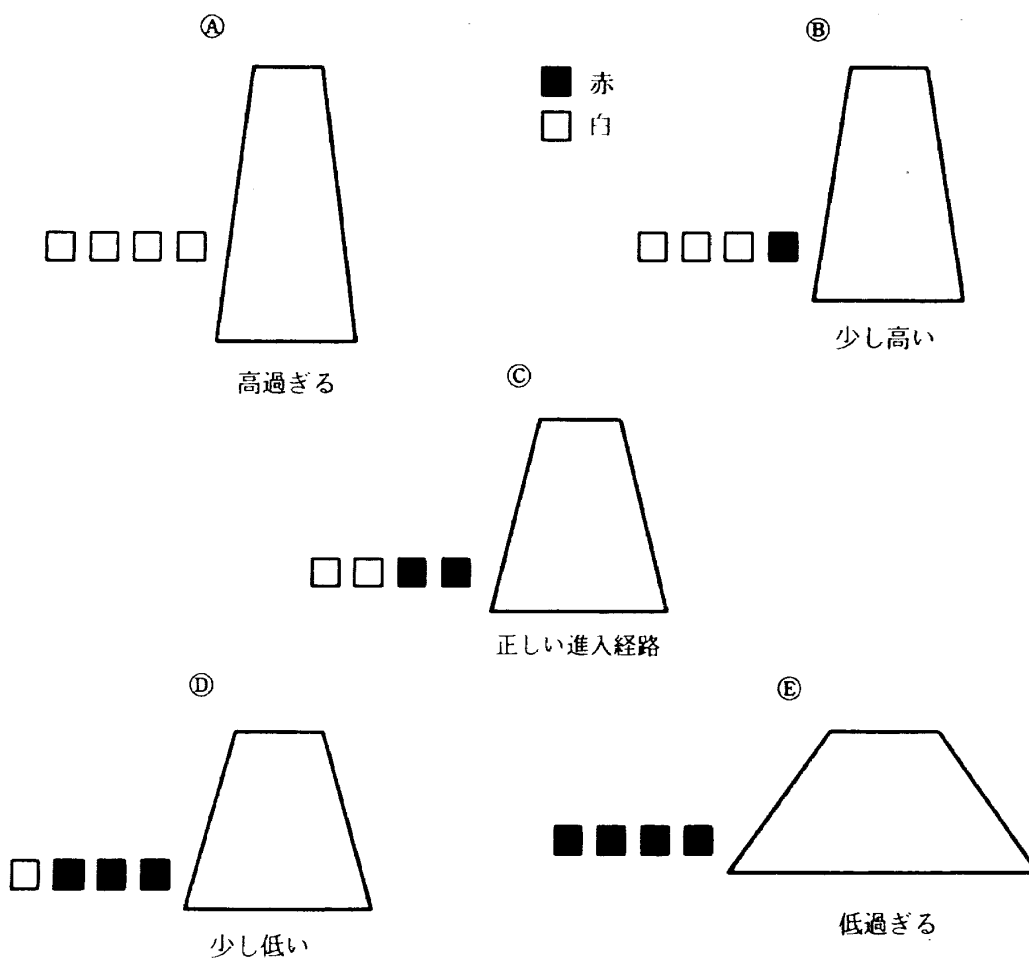


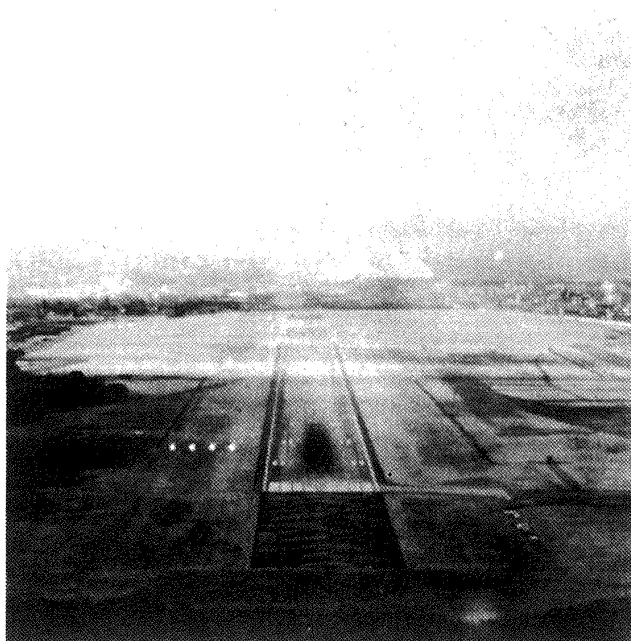
図13 進入経路角と航空機からの見え方

注, 写真①～⑤

1. C : CTOL S : STOL
2. C及びSの番号は灯器番号
3. 灯器の番号は滑走路側より 1, 2, 3, 4とする
4. r は航空機の進入中の位置

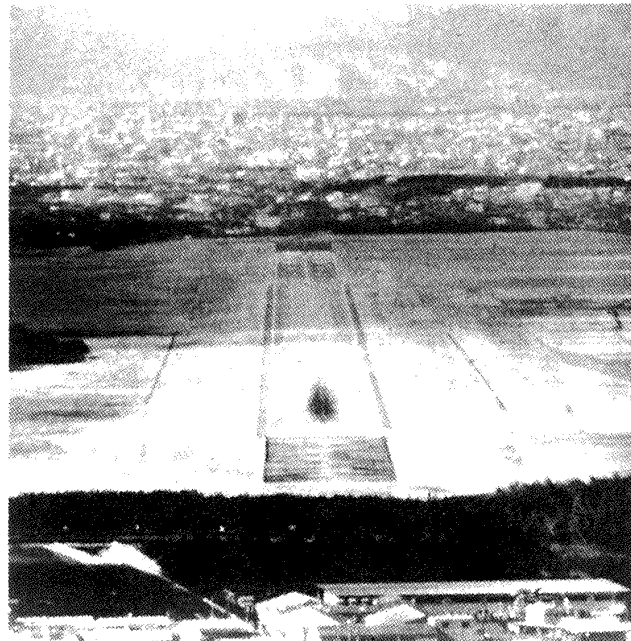
写真① 高過ぎる ($r > 3^\circ 30'$)

C1-白, C2-白, C3-白, C4-白



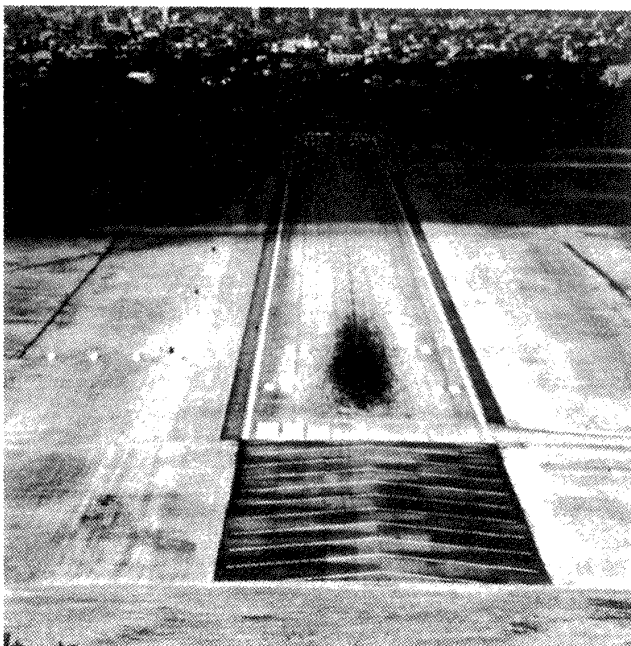
写真② 正しい進入経路 ($3^\circ 10' > r > 2^\circ 50'$)

C1-赤, C2-赤, C3-白, C4-白



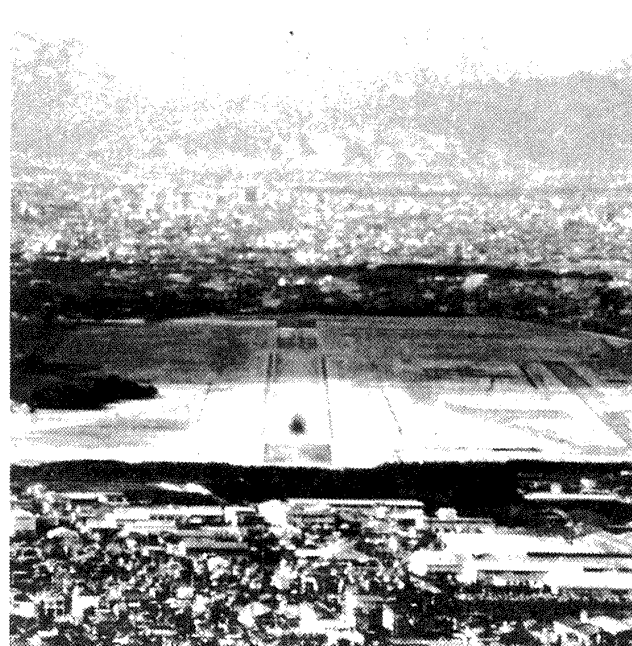
写真③ 少し高い ($3^\circ 30' > r > 3^\circ 10'$)

C1-赤, C2-白, C3-白, C4-白



写真④ 少し低い ($2^\circ 50' > r > 2^\circ 30'$)

C1-赤, C2-赤, C3-赤, C4-白

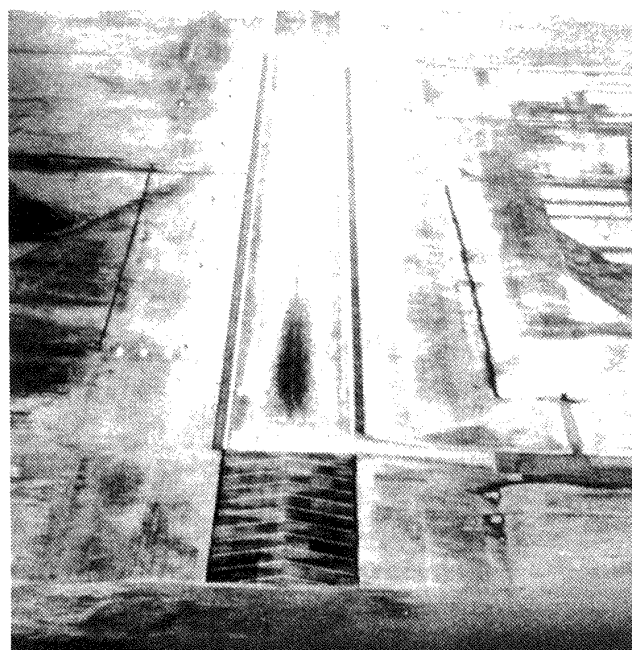


写真㊦ 低過ぎる($r < 2^\circ 30'$)

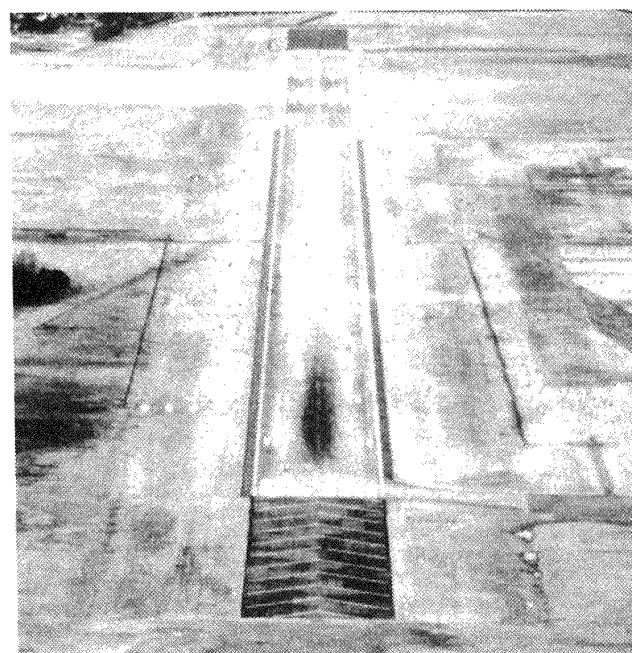
C1-赤, C2-赤, C3-赤, C4-赤

写真㊦' 高過ぎる($r > 6^\circ 35'$)

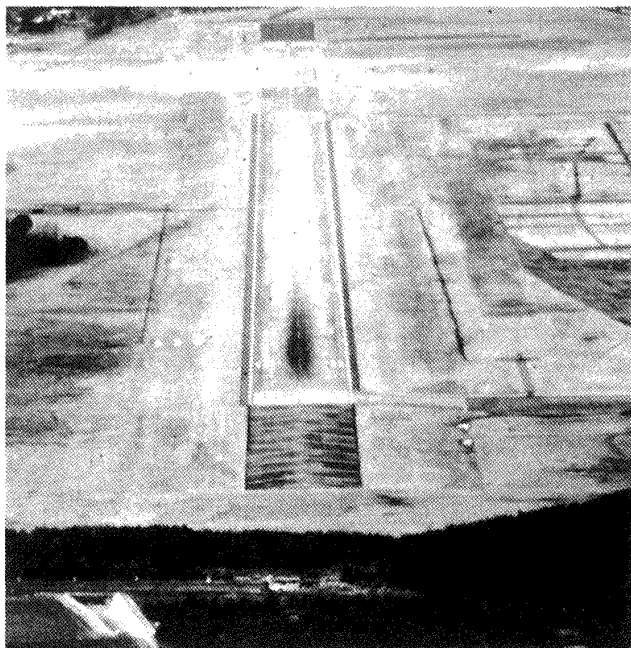
S1-白, S2-白, S3-白, S4-白

写真㊦' 少し高い($6^\circ 35' > r > 6^\circ 15'$)

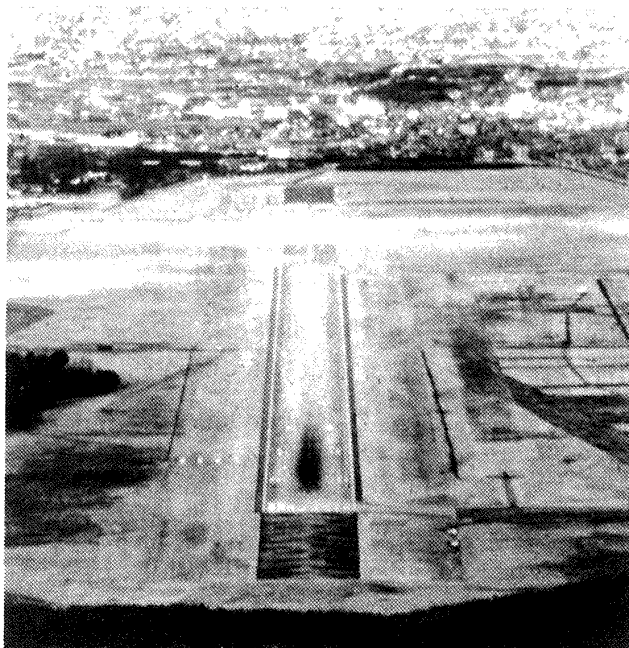
S1-赤, S2-白, S3-白, S4-白



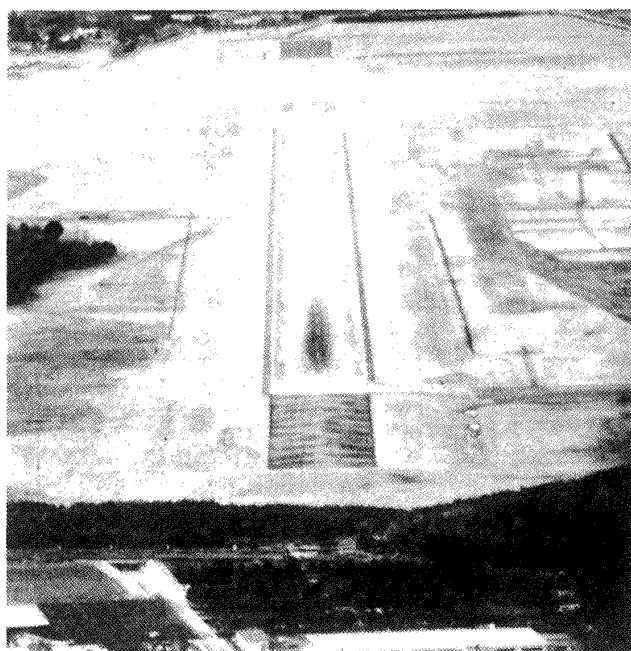
写真㉔' 正しい進入経路($6^{\circ}15' > \gamma > 5^{\circ}45'$)
S1-赤, S2-赤, S3-白, S4-白



写真㉔' 低過ぎる($\gamma < 5^{\circ}25'$)
S1-赤, S2-赤, S3-赤, S4-赤



写真㉔' 少し低い($5^{\circ}45' > \gamma < 5^{\circ}25'$)
S1-赤, S2-赤, S3-赤, S4-白



10. 灯器の性能試験

灯器の性能については灯器完成工場出荷前に光柱光度試験，色度試験，転移層試験及び絶縁抵抗試験，防水試験，高温試験，低温試験，温度上昇試験，荷重試験を実施し特に問題はなかった。以下に各試験の概略を記す。

(1) 光柱光度試験

光柱光度試験は灯器の中心軸を正確に調整，定格電流で特性が安定するまで点灯し，10mの距離で照度を測定した。測定値は光度中心が傾よった灯器もあったが，各灯器共 ICAO 基準の白色 8万5000～10万カンデラ，赤色は白色の15%以上の条件を満足する値であった。各灯器毎の光柱光度測定表を図14～22に示す。

(2) 色度試験

色度試験は灯器に定格電流を流し，灯器の前方100mの位置で色彩輝度計にて灯器の特性が安定したことを確認の後，水平方向0°，鉛直方向は転移層中心より±5分の位置の色度を測定した。結果はいずれも JIS W-8301 航空標識の色に認定された白色，及び赤色の色度範囲内であった。表

11に各灯器の測定表を図23に結果を示す。

(3) 転移層試験

転移層試験は色度試験同様の方法により色度値を測定した。転移層の鉛直角度は，測定された色度値から次式を使ってより現実の感覚に近い色度座標 u' ， v' に変換し，その自乗和の平方根の値から求めた。

$$u' = 4x / (-2x + 12y + 3) \quad (8)$$

$$v' = 9y / (-2x + 12y + 3) \quad (9)$$

$$\beta = \sqrt{u'^2 + v'^2} \quad (10)$$

転移層の鉛直角度については， $\beta = 0.62 \sim 0.68$ の範囲とした。測定点は水平方向0°及び左右7.5°の各位置において転移層の中心より鉛直方向に30秒間隔で±5分までとした。各灯器毎の転移層評価の結果を図24～32に示す。

判定基準については，転移層の鉛直角度は水平方向0°で3分以内，水平方向左右各7.5°の位置で5分以内である事（ICAO及びJCAB基準案）を適用した。

その結果，各灯器共基準を満足する値であることを確認した。

表11 転移層幅及び色度

灯器 No.	色度（色度座標）				転移層幅（分）			転移層中心の水平方向の湾曲(中心基準) (分)	
	赤		白		中 心	左 7.5度	右 7.5度	左 7.5度	右 7.5度
	x	y	x	y					
1	0.683	0.308	0.467	0.391	0.7	1.4	1.6	-1.3	-1.1
2	0.684	0.301	0.466	0.395	2.1	1.4	1.1	+0.6	+0.6
3	0.689	0.300	0.467	0.392	1.0	1.7	1.8	-0.3	0.0
4	0.690	0.301	0.470	0.388	1.1	1.6	1.6	-0.1	0.0
5	0.691	0.301	0.463	0.393	1.3	1.2	1.4	+0.3	+0.1
6	0.686	0.303	0.464	0.391	1.7	0.9	1.6	0.0	+0.5
7	0.693	0.299	0.464	0.393	0.8	1.6	1.5	-0.6	-0.7
8	0.696	0.295	0.465	0.393	0.8	2.2	1.6	-1.7	-1.4
9	0.685	0.306	0.473	0.405	0.9	2.0	1.8	-1.2	-0.3

注；＋：上方向 －：下方向

光柱光度測定表

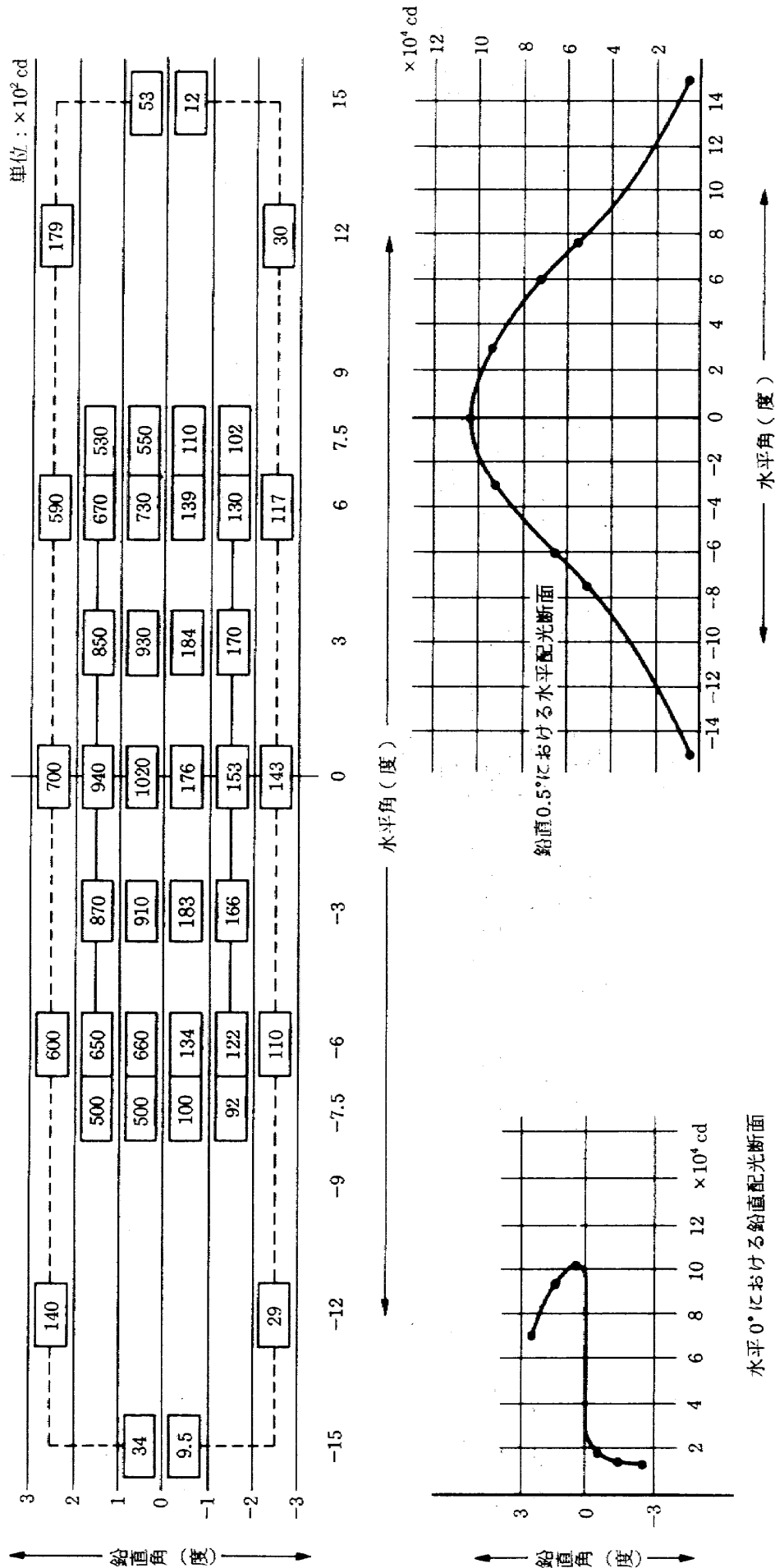


図14 S1 灯器

光柱光度測定表

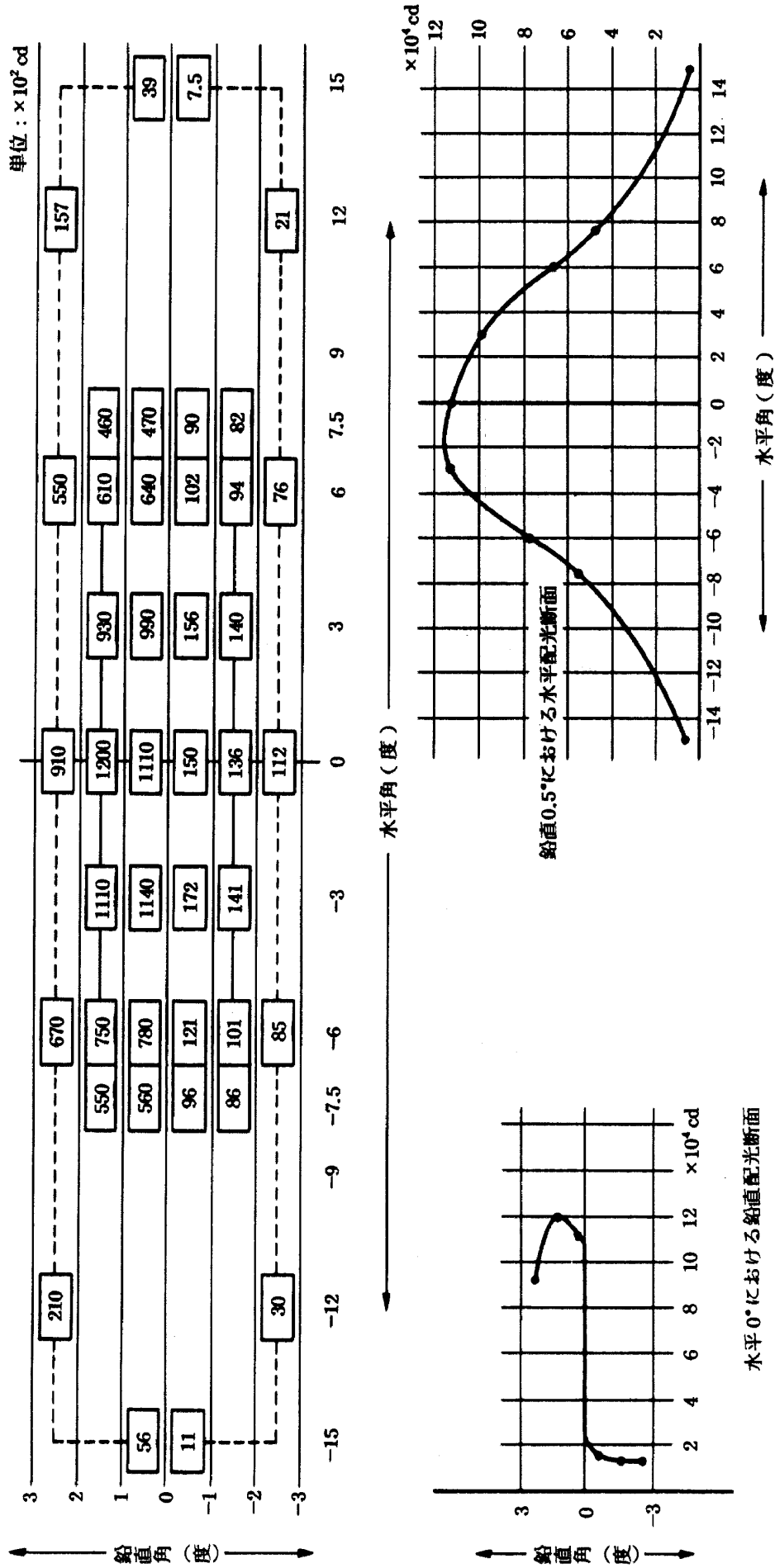


図15 S2灯器

光柱光度測定表

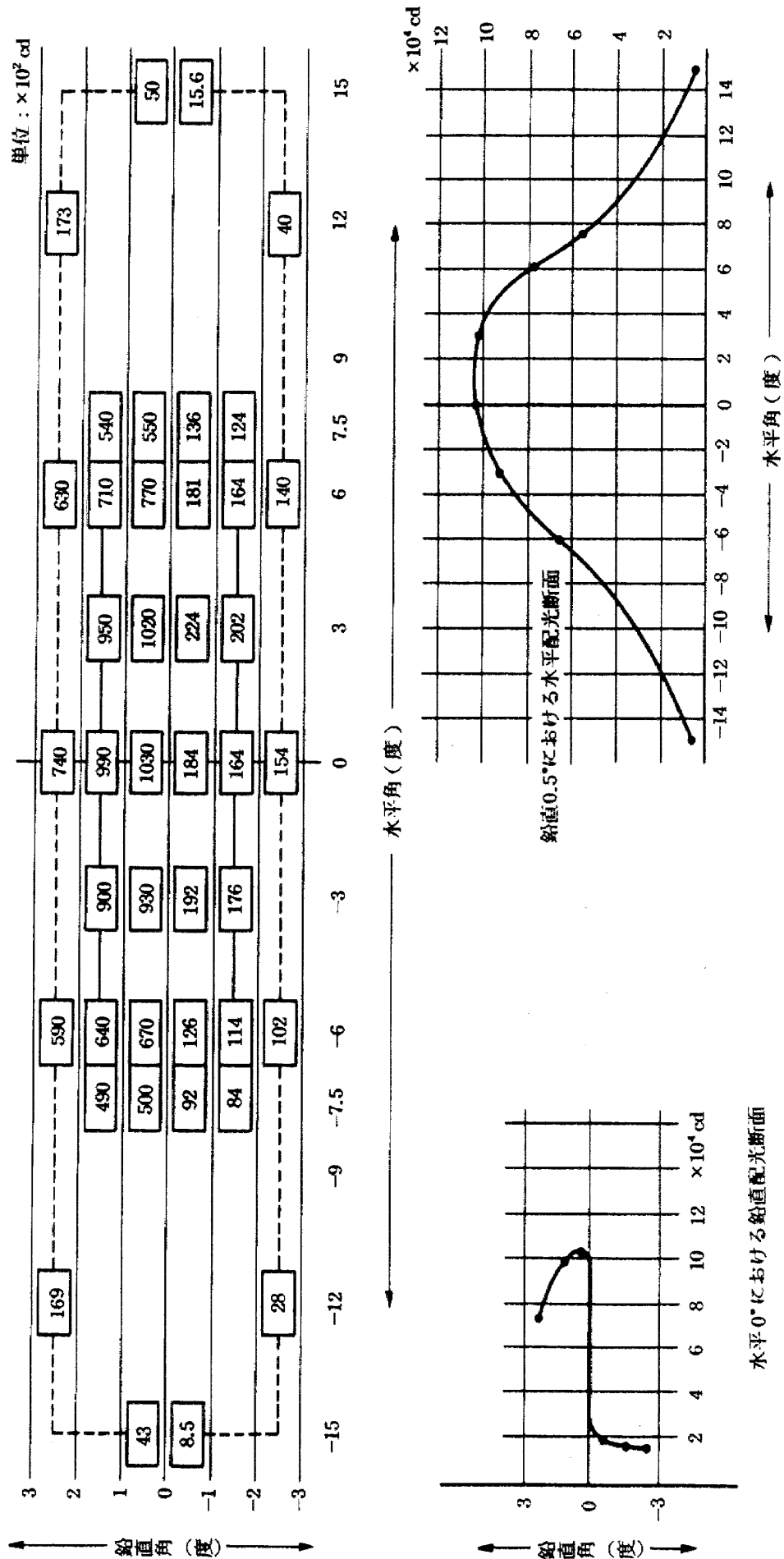


図16 S3灯器

光柱光度測定表

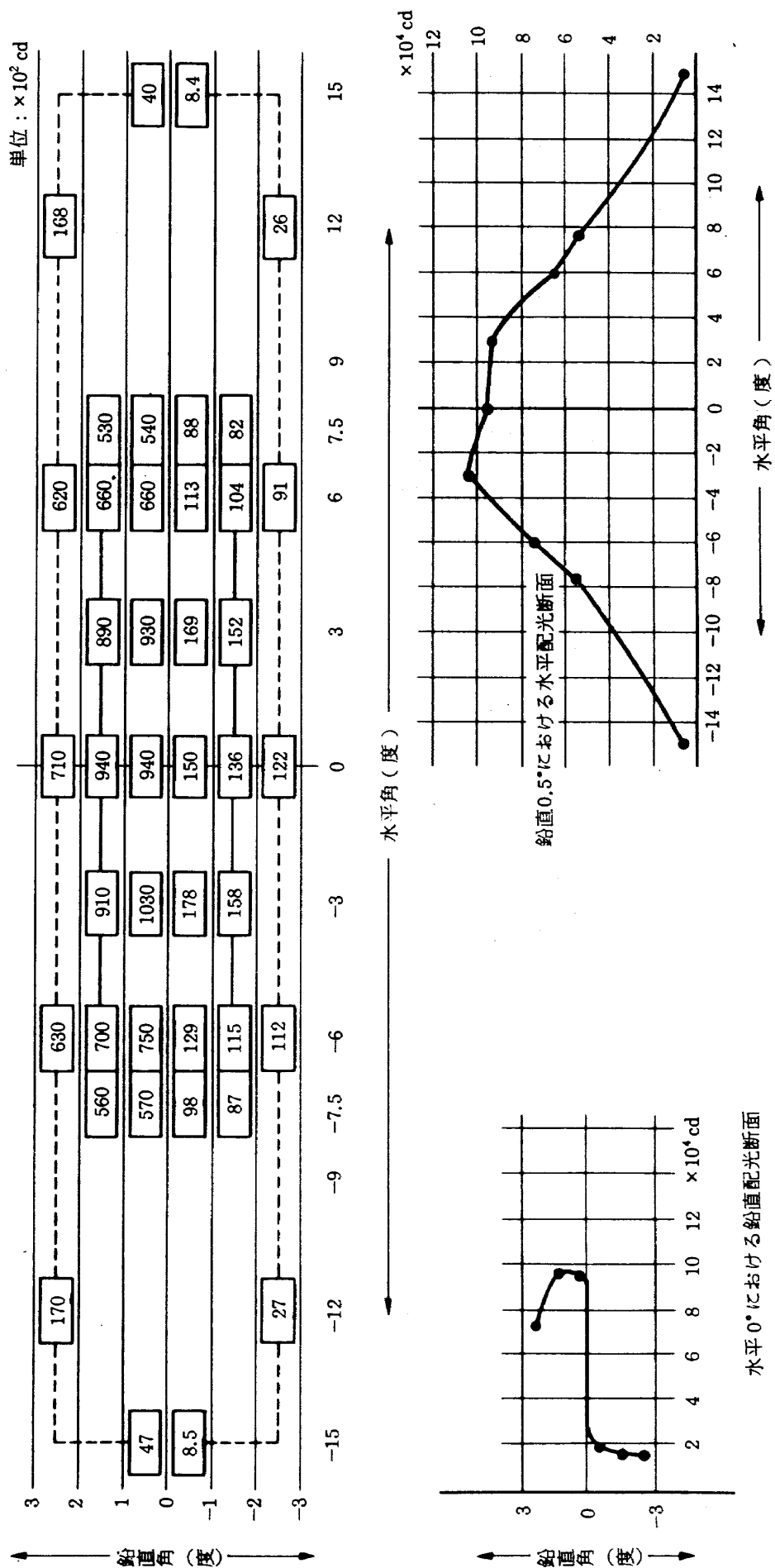


図17 S4 灯器

光柱光度測定表

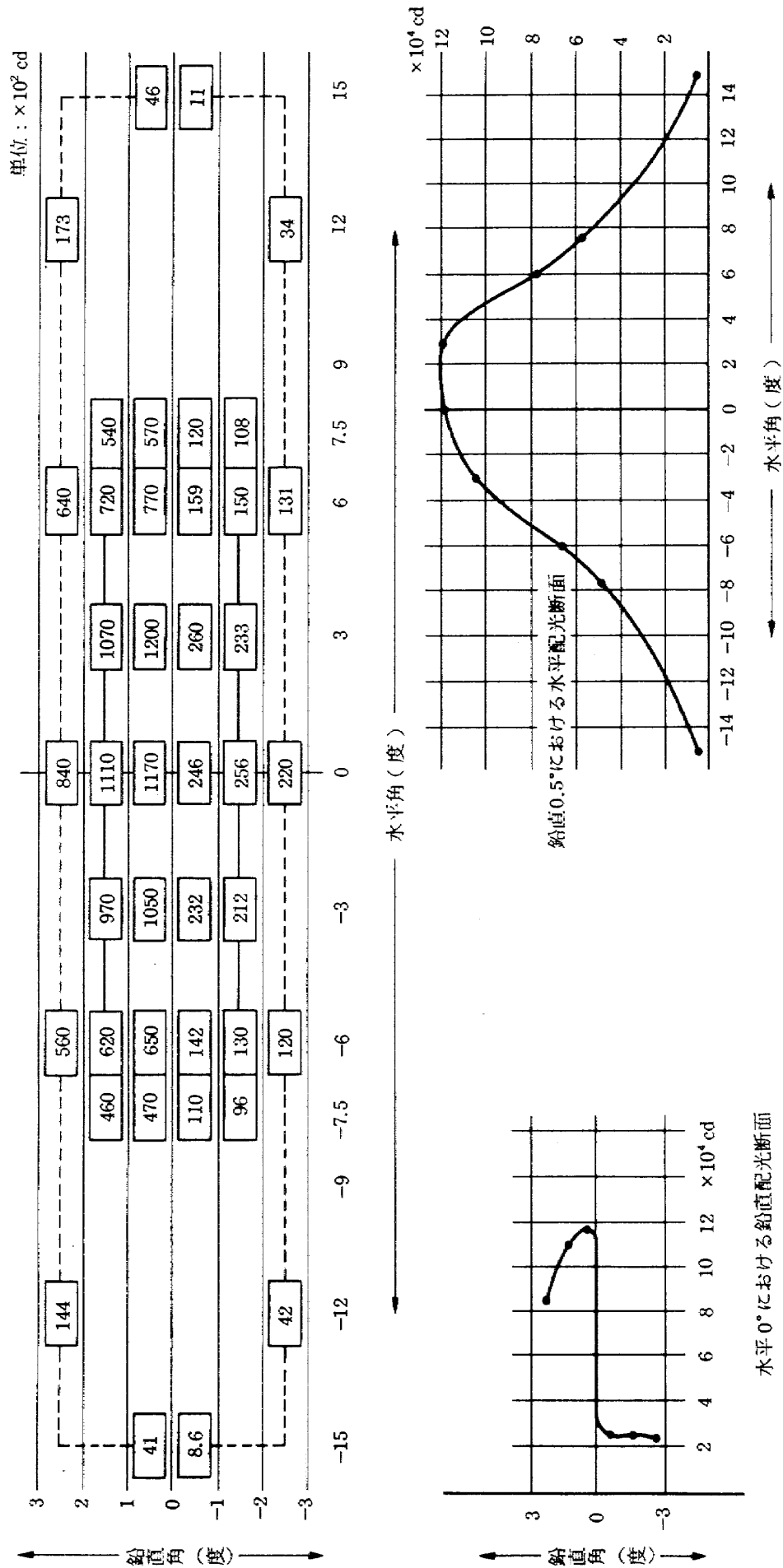


図18 C1 灯器

光柱光度測定表

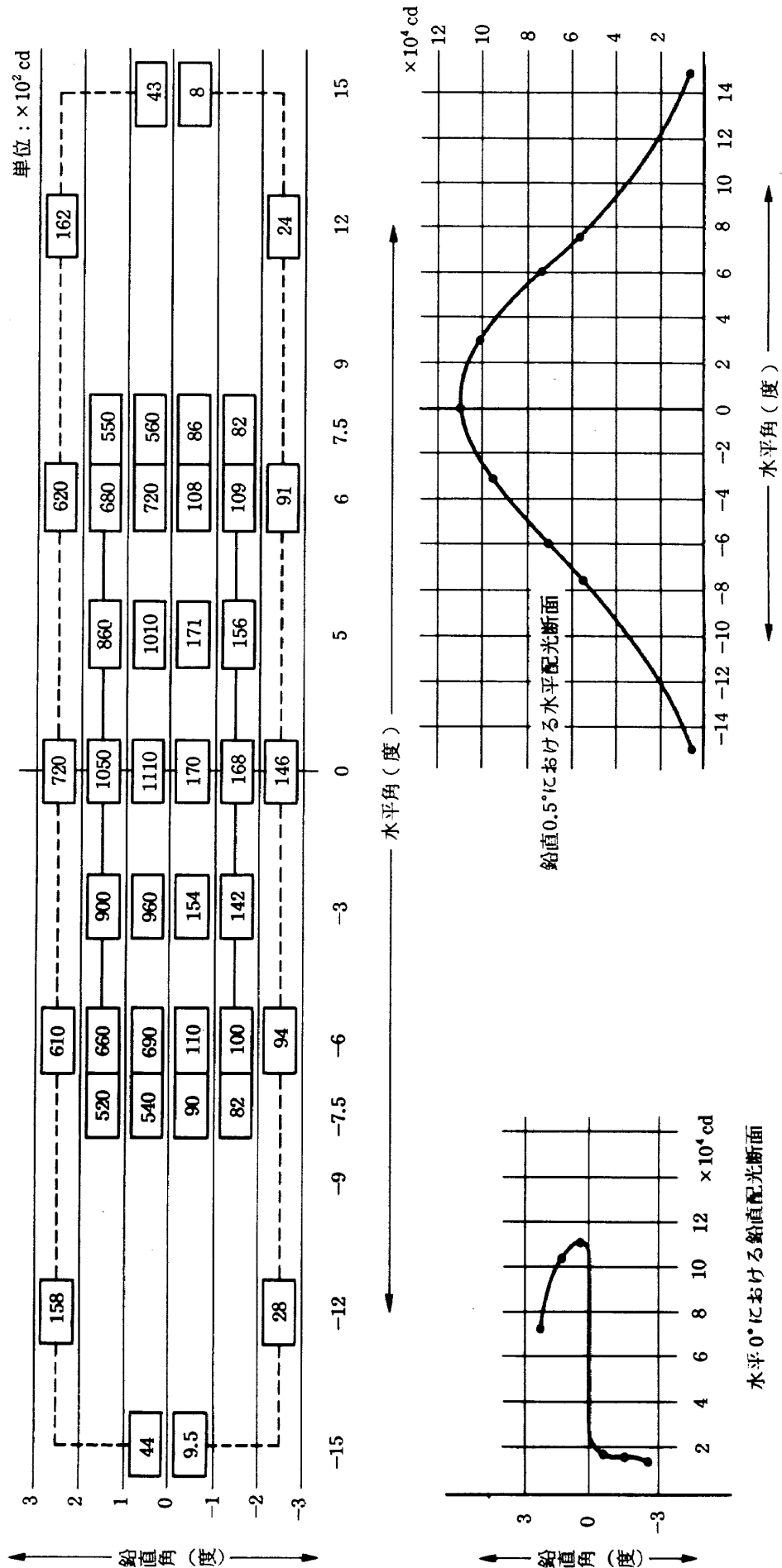


図19 C2灯器

光柱光度測定表

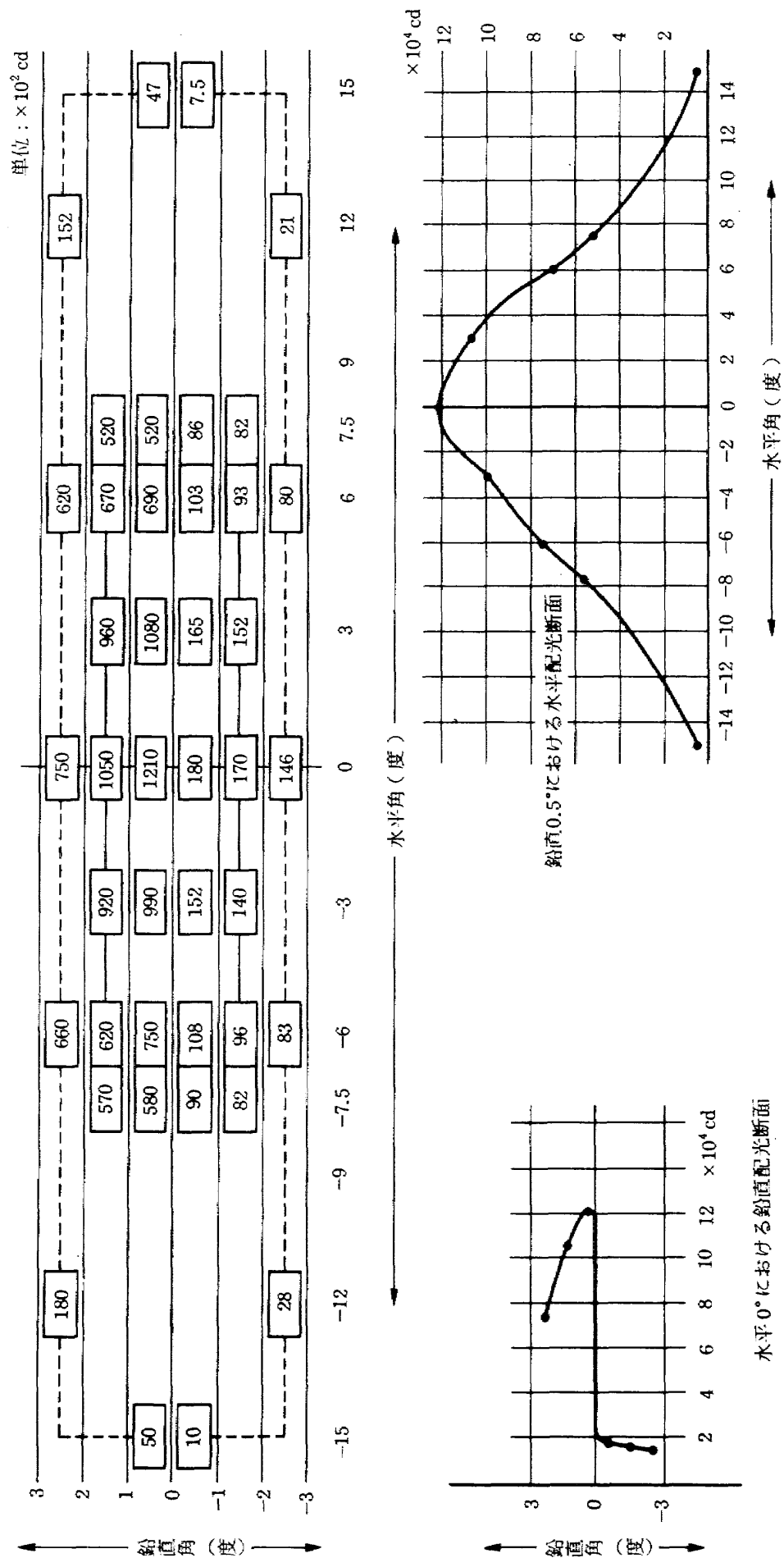


図20 C3 灯器

光柱光度測定表

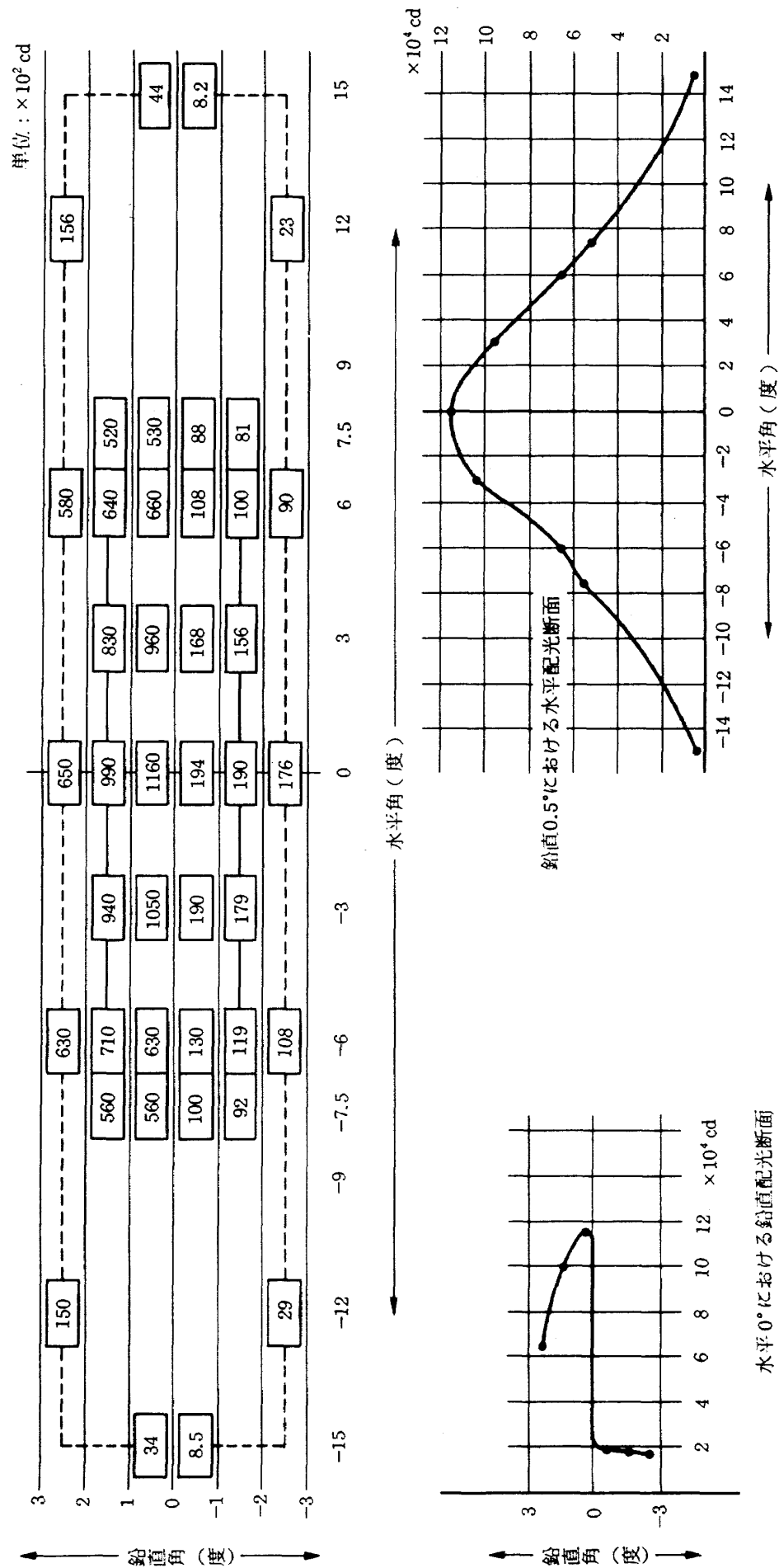


図21 C4灯器

光柱光度測定表

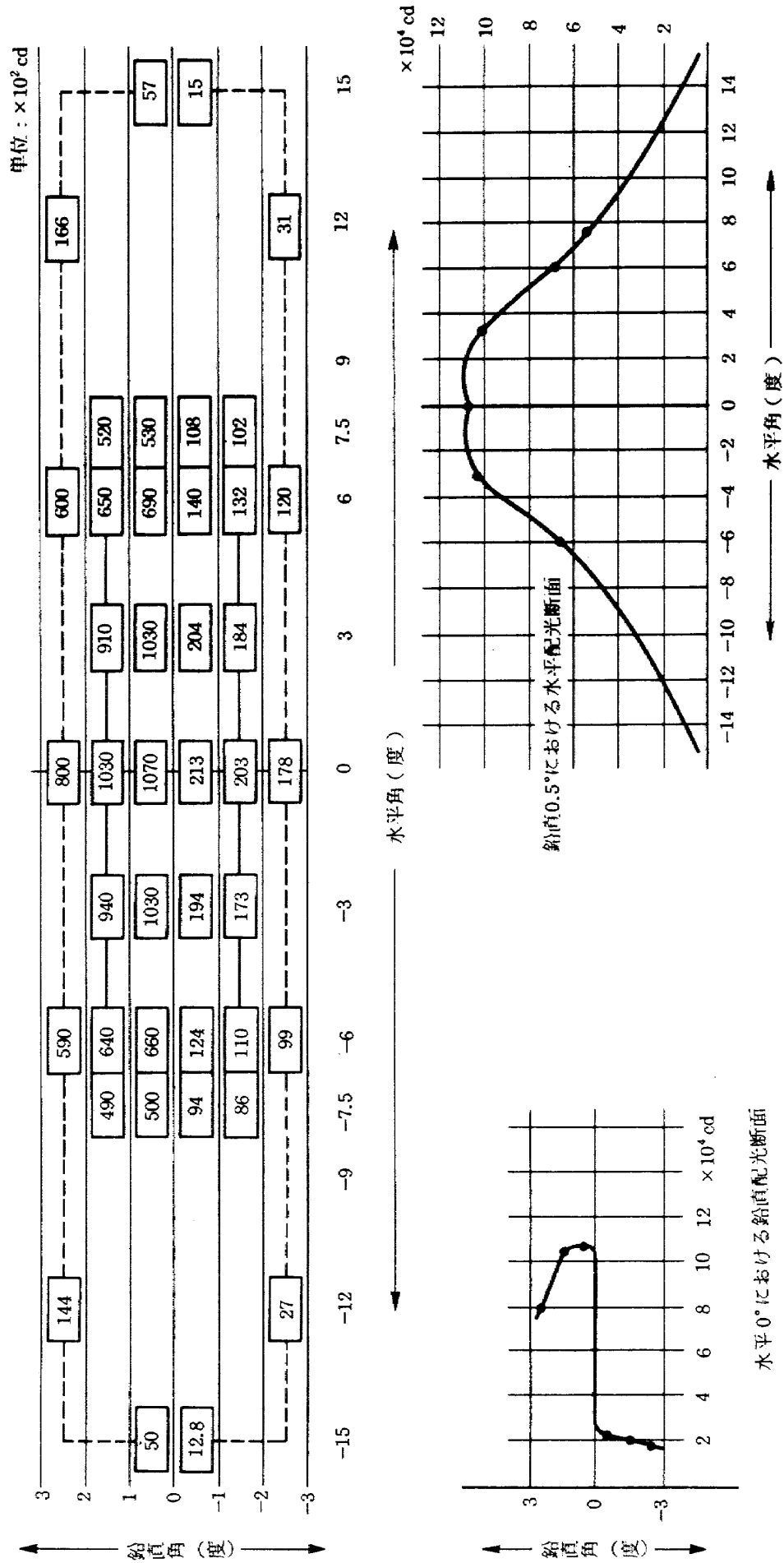


図22 予備カセット

A～Tの範囲は各色の色度基準範囲

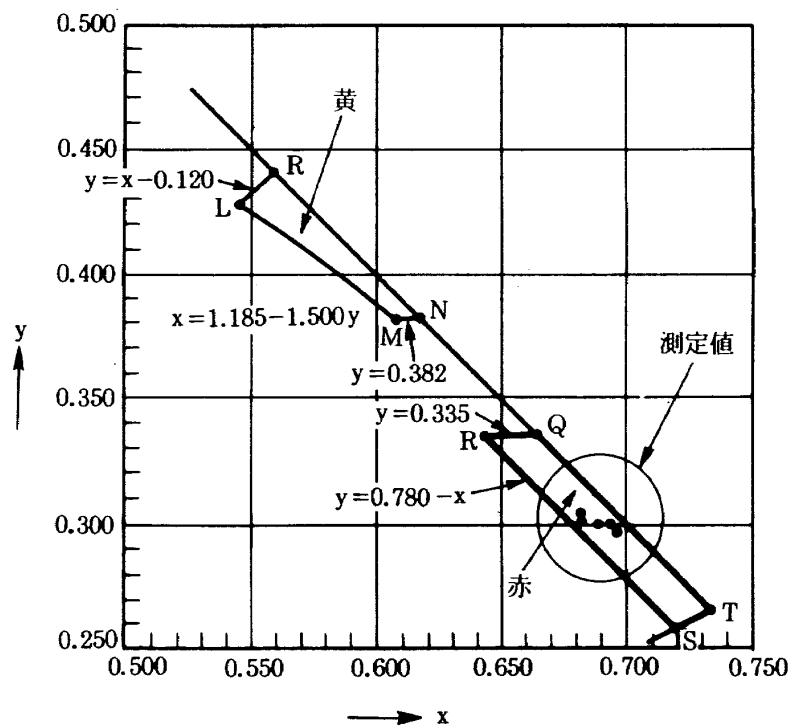
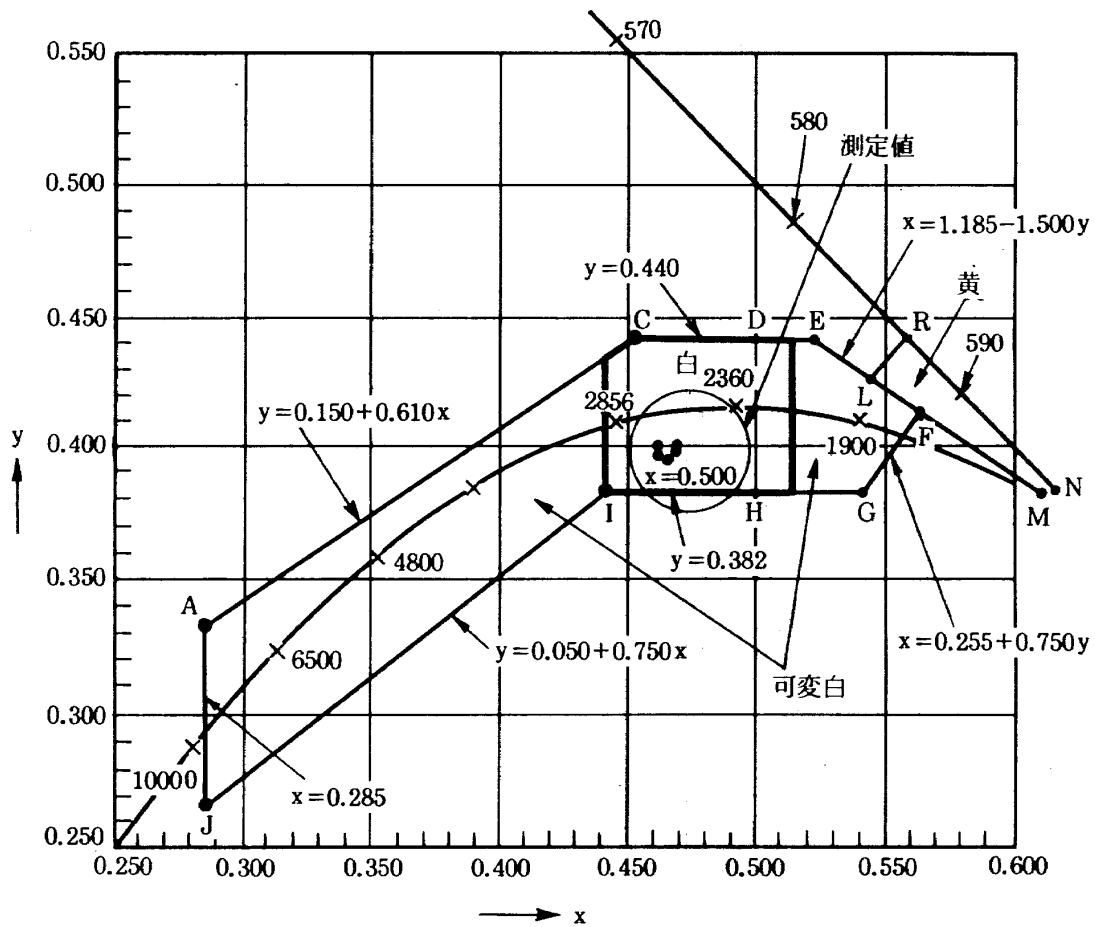
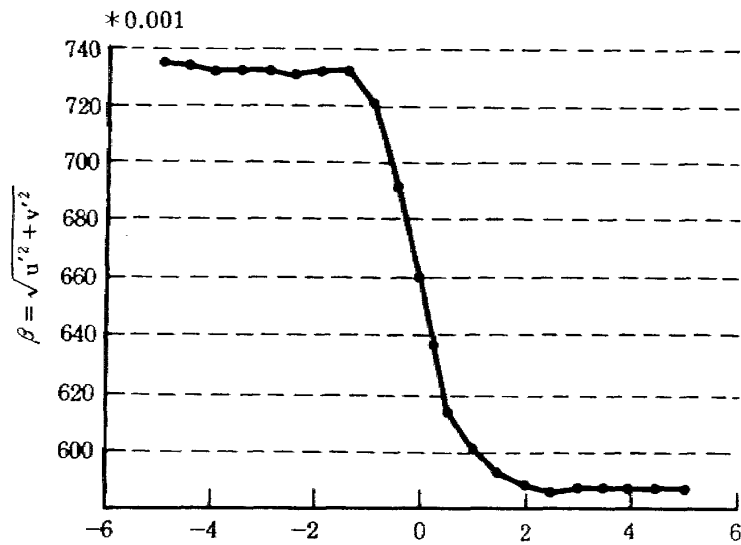
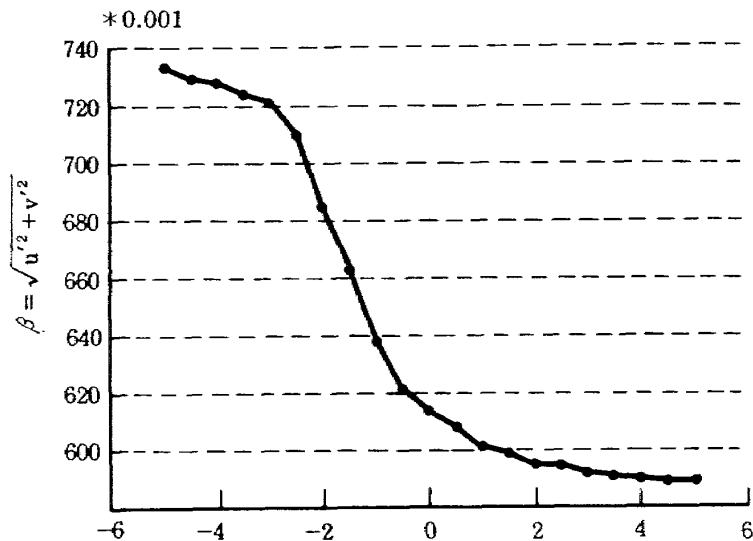


図23 色度測定

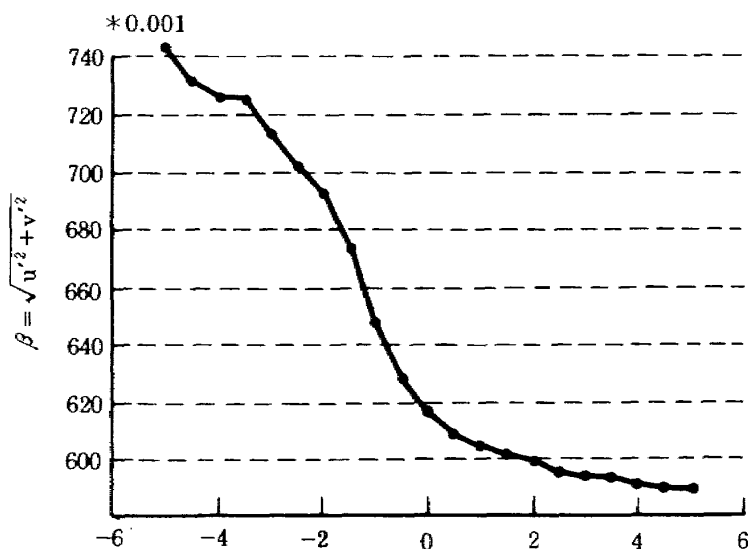
転移層評価



(1) 水平角 0°, 転移層幅 0.7'



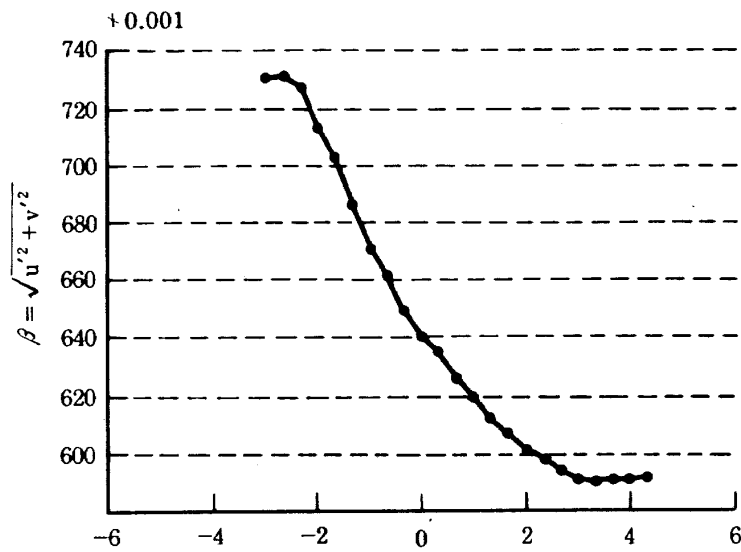
(2) 水平角左 7.5°, 転移層幅 1.4'



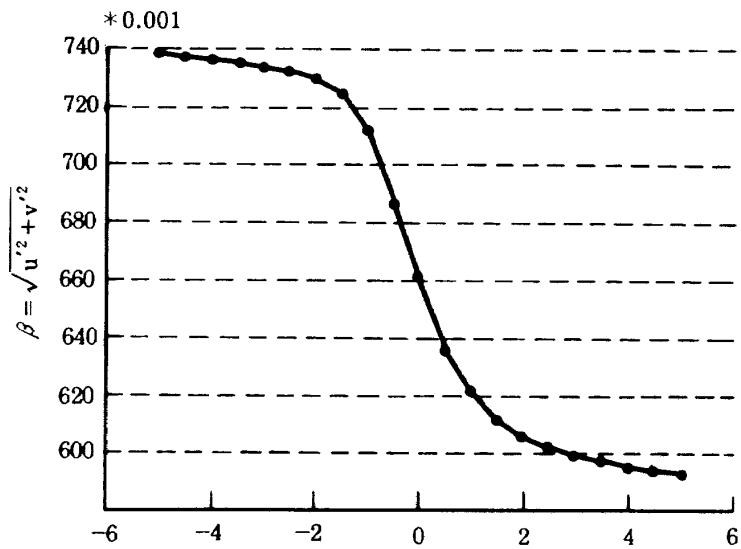
(3) 水平角右 7.5°, 転移層幅 1.6'

図24 S1 灯器

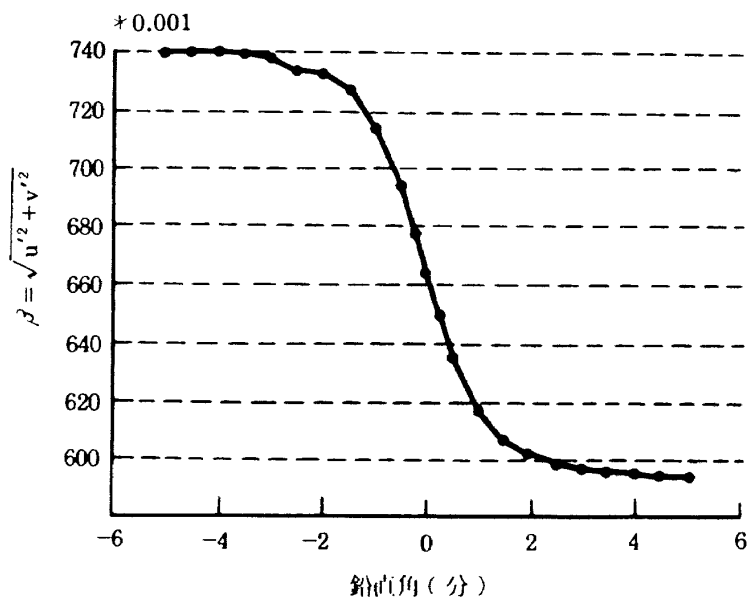
転移層評価



(1) 水平角 0°, 転移層幅 2.1'



(2) 水平角左 7.5°, 転移層幅 1.4'



(3) 水平角右 7.5°, 転移層幅 1.1'

図25 S2 灯器

転移層評価

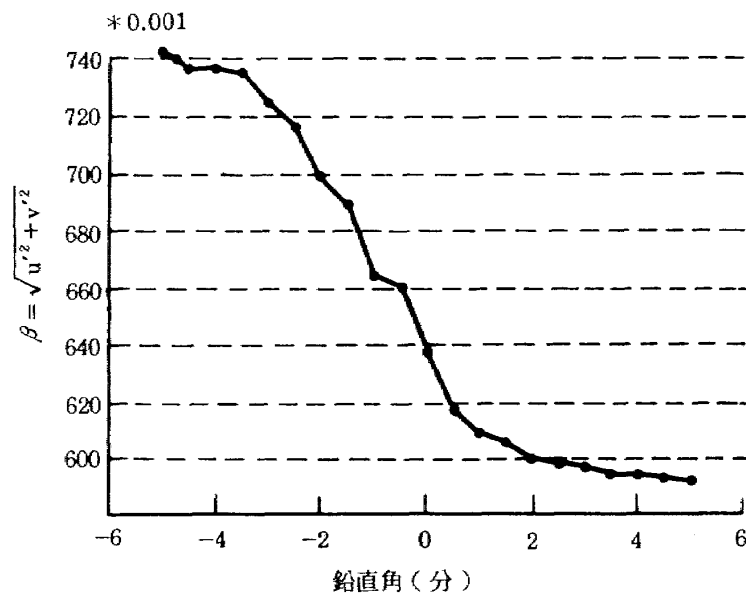
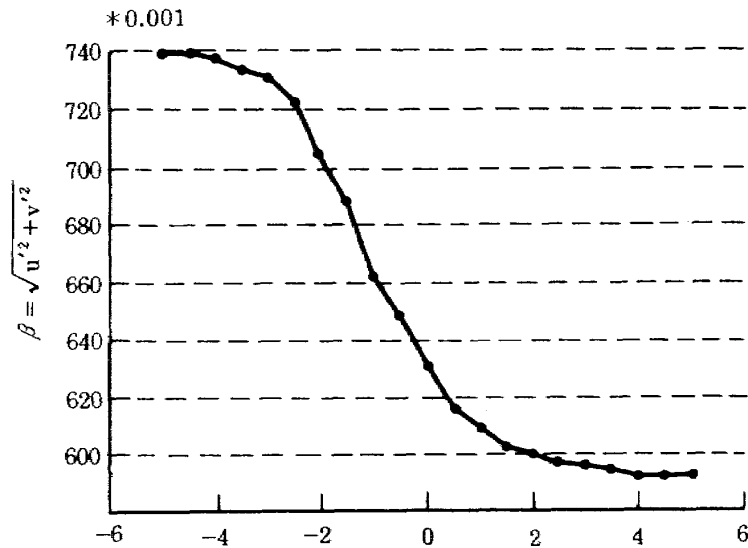
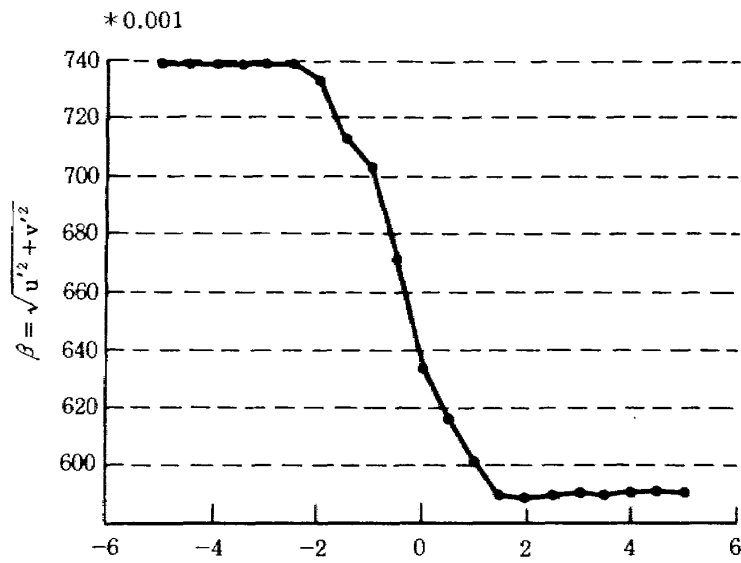


図26 S3灯器

轉移層評価

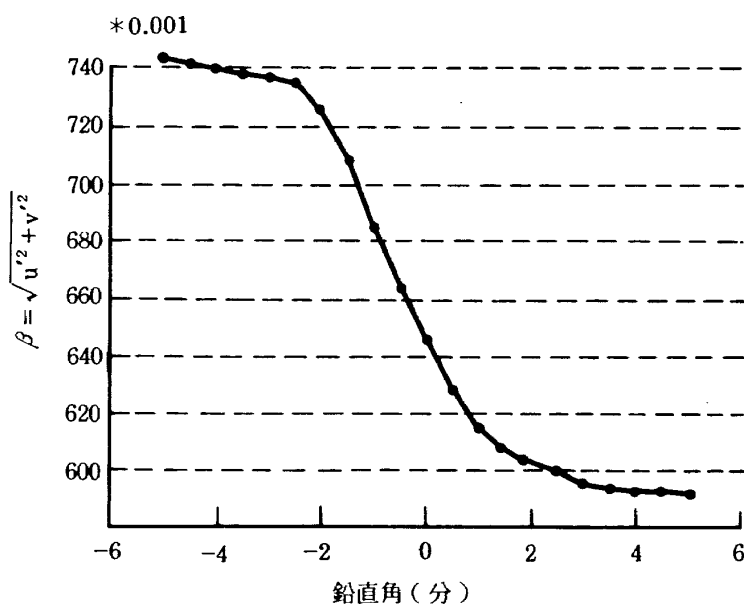
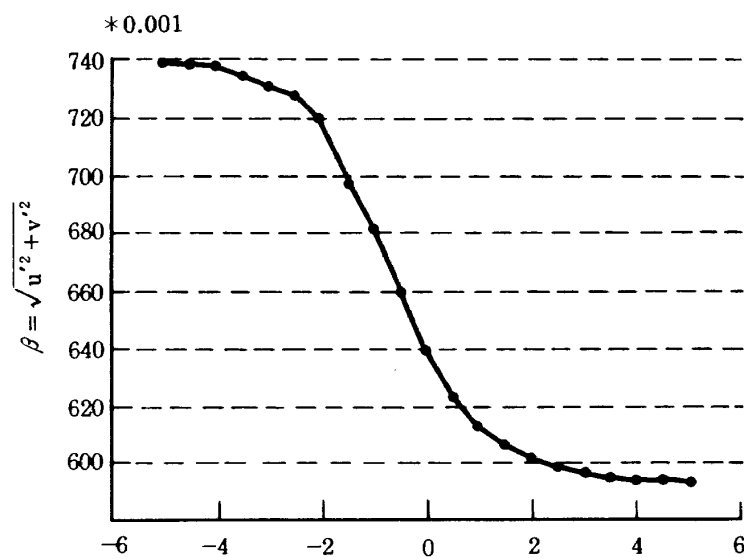
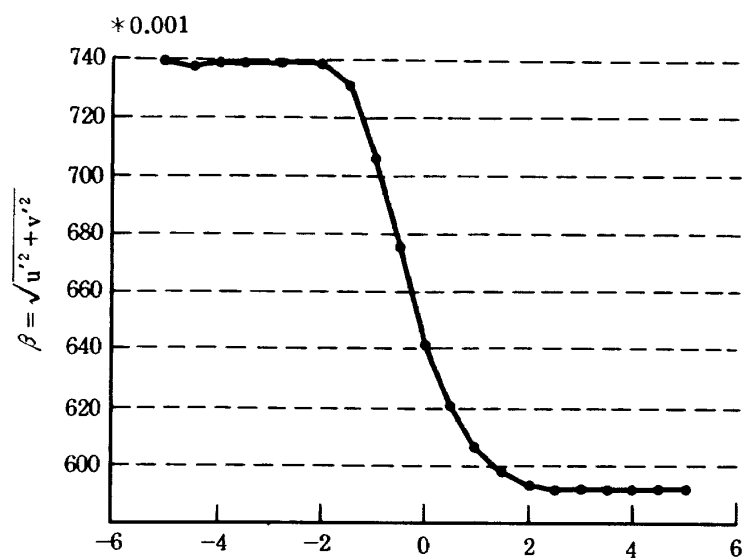


図27 S4灯器

転移層評価

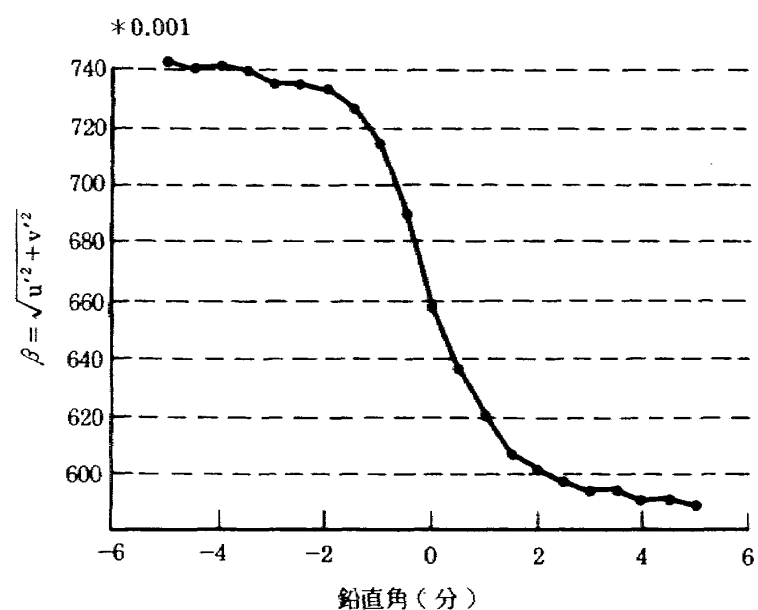
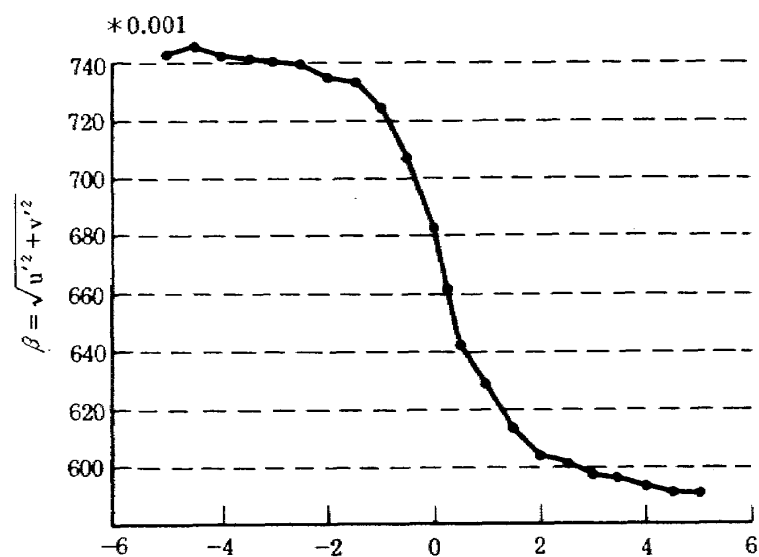
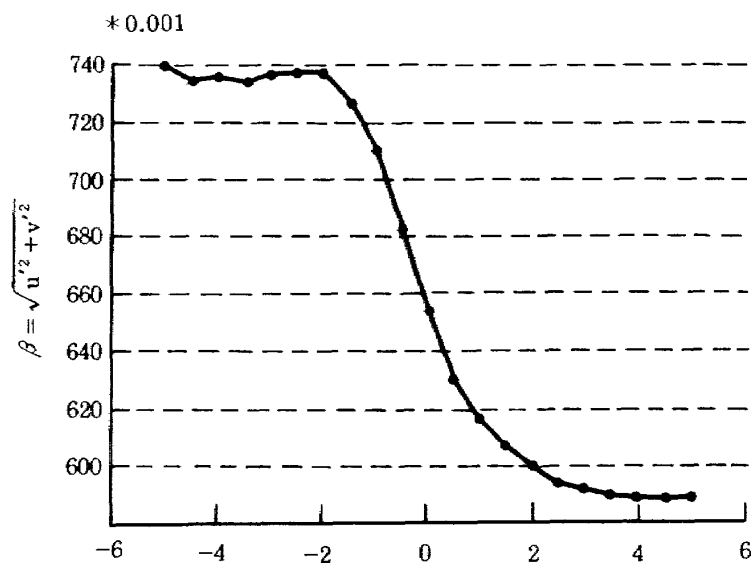
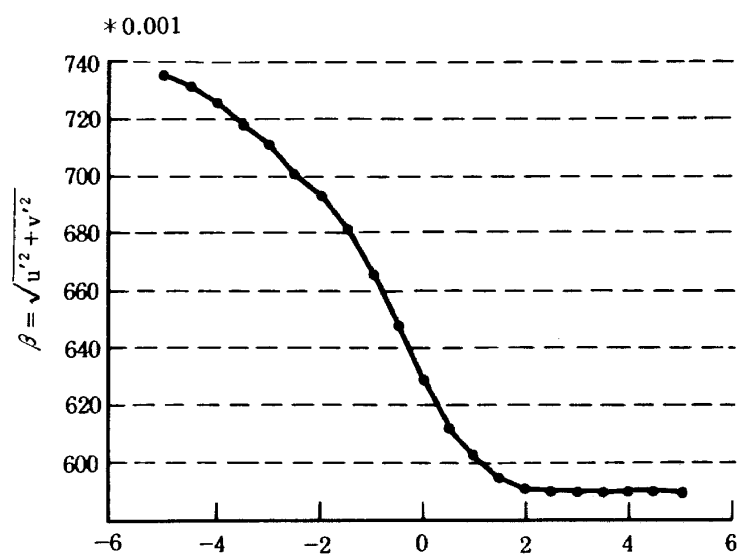
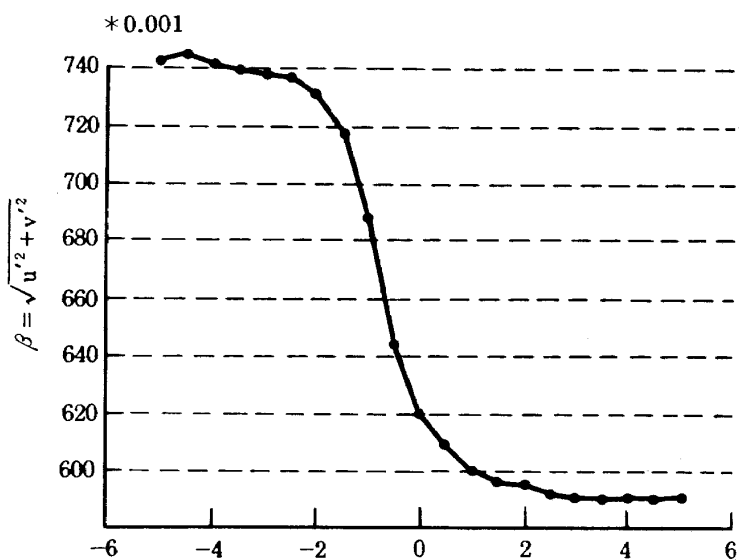


図28 C1灯器

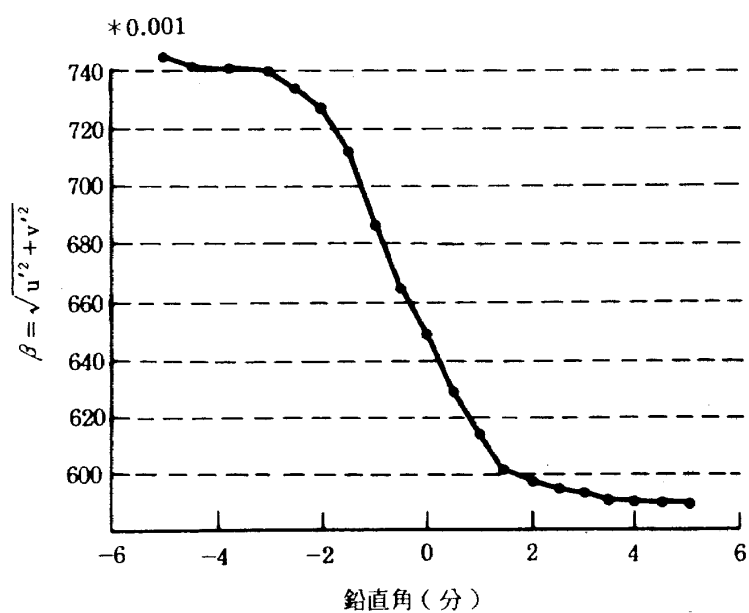
轉移層評価



(1) 水平角0°, 轉移層幅1.7'



(2) 水平角左7.5°, 轉移層幅0.9'



(3) 水平角右7.5°, 轉移層幅1.6'

図29 C2灯器

転移層評価

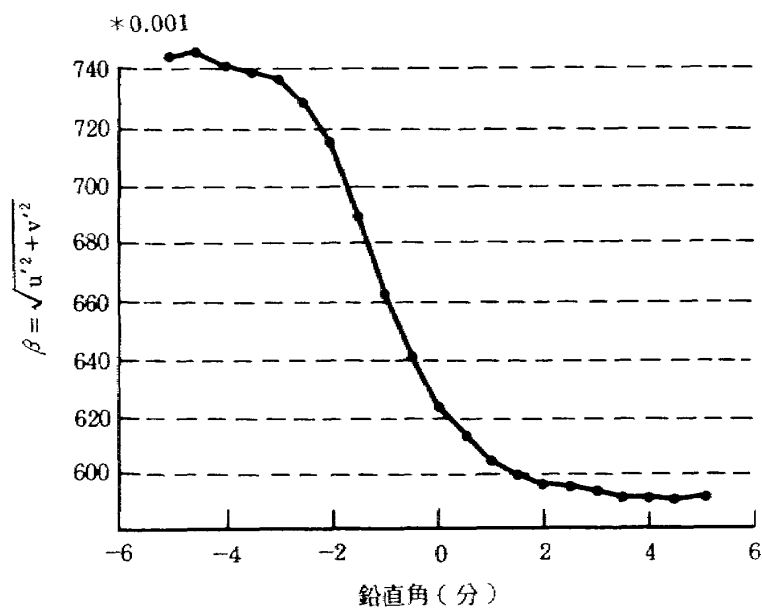
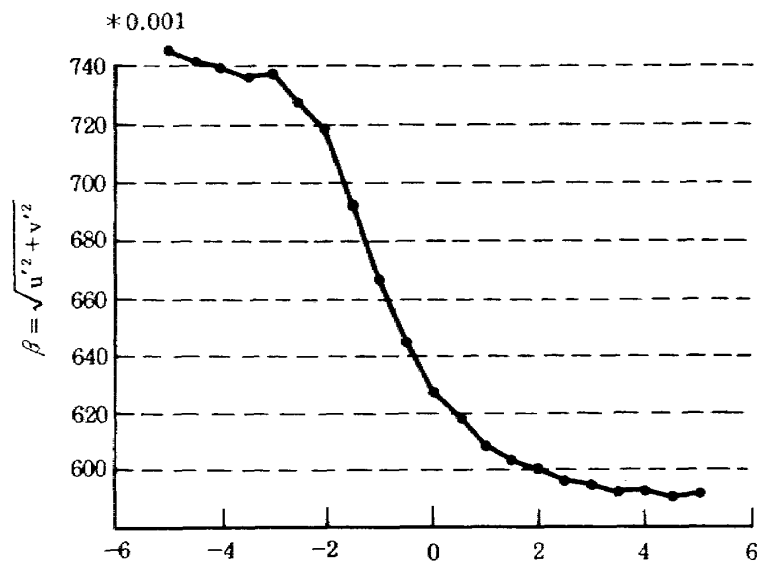
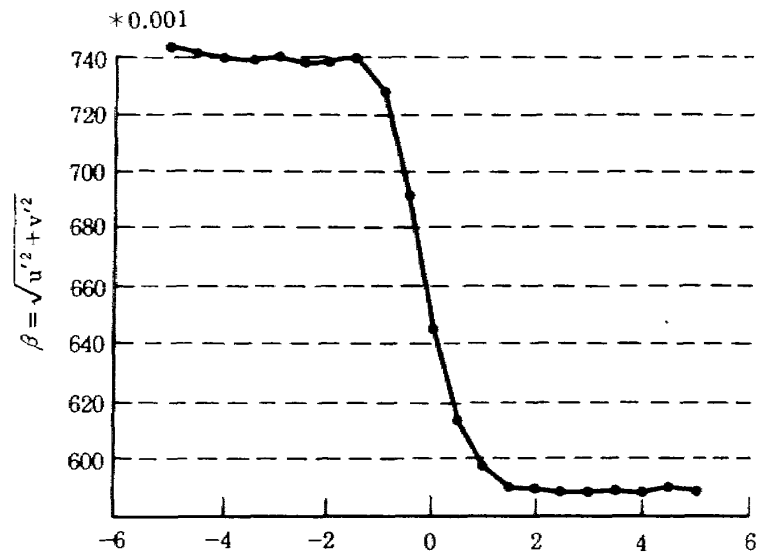
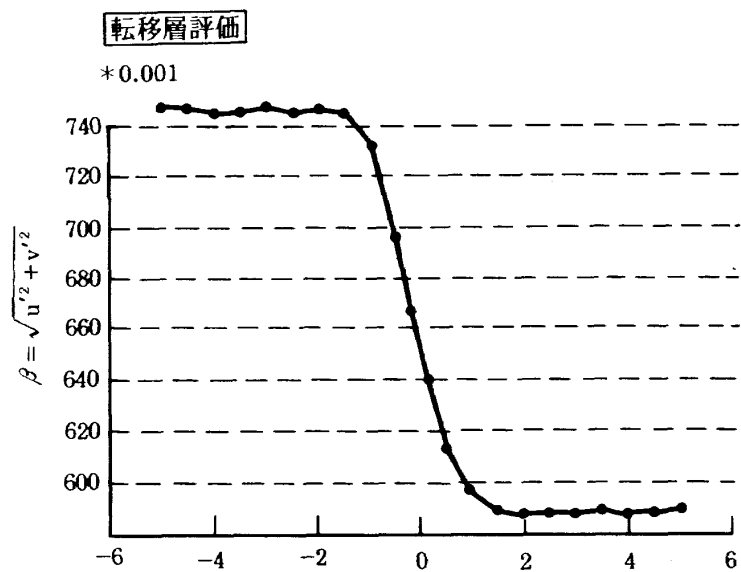
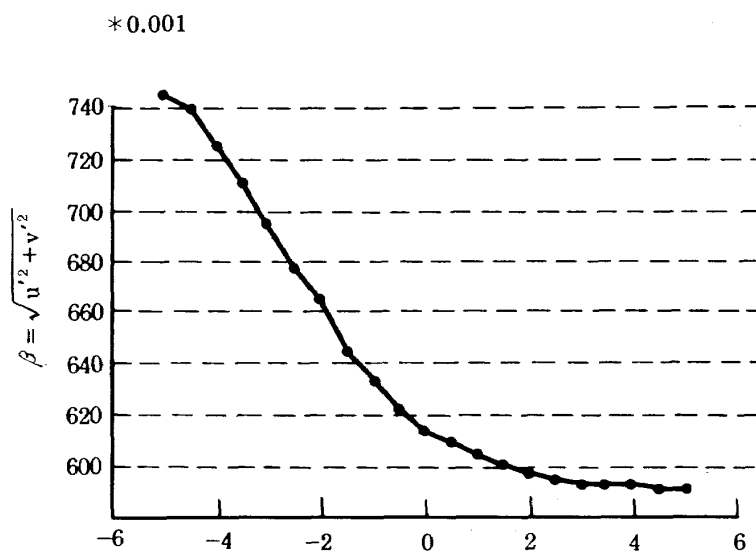


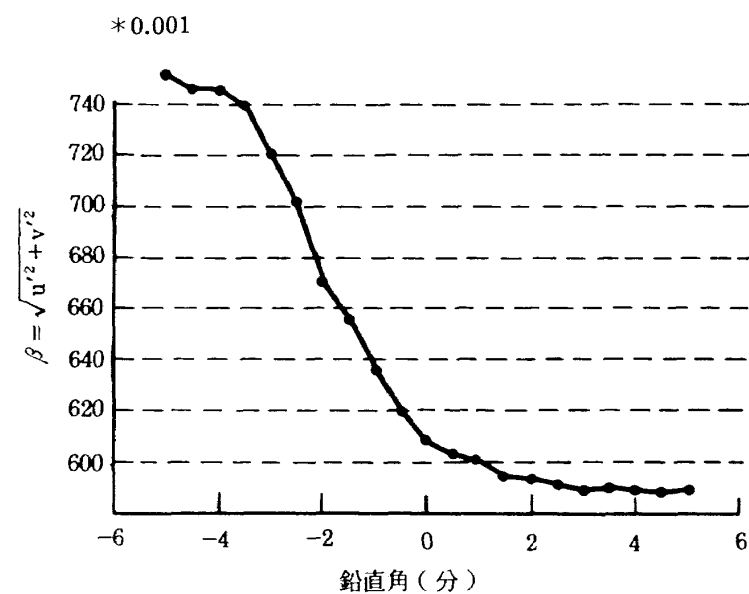
図30 C3 灯器



(1) 水平角0°, 轉移層幅0.8'

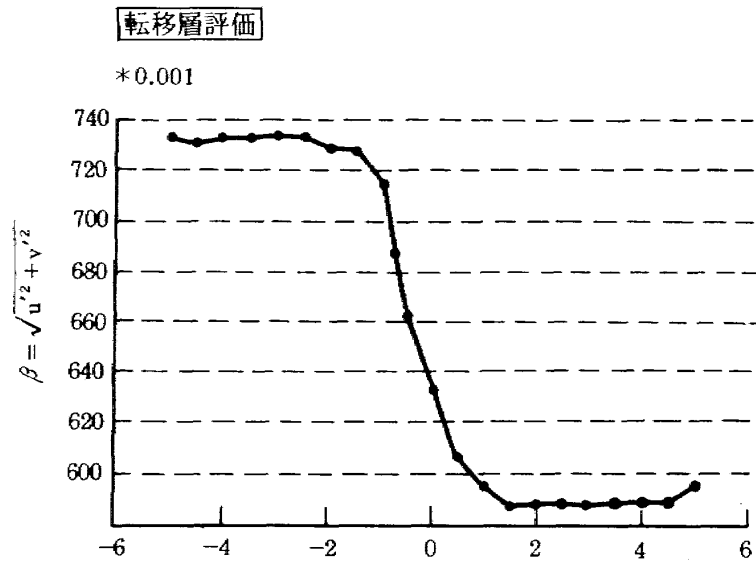


(2) 水平角左7.5°, 轉移層幅2.2'

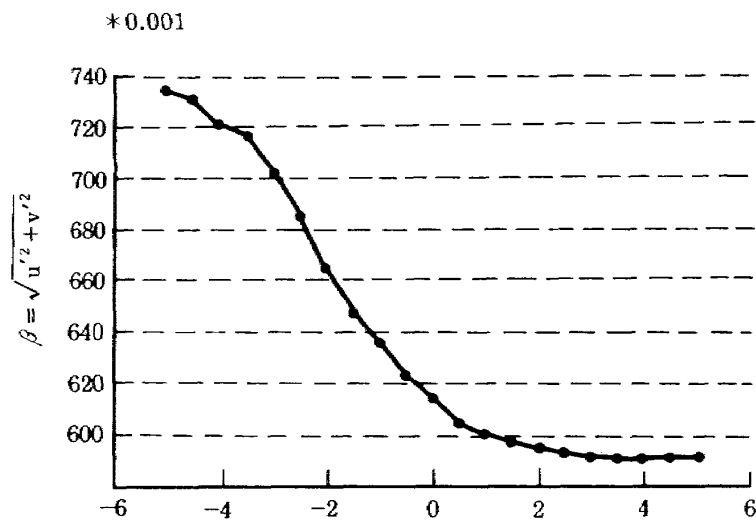


(3) 水平角右7.5°, 轉移層幅1.6'

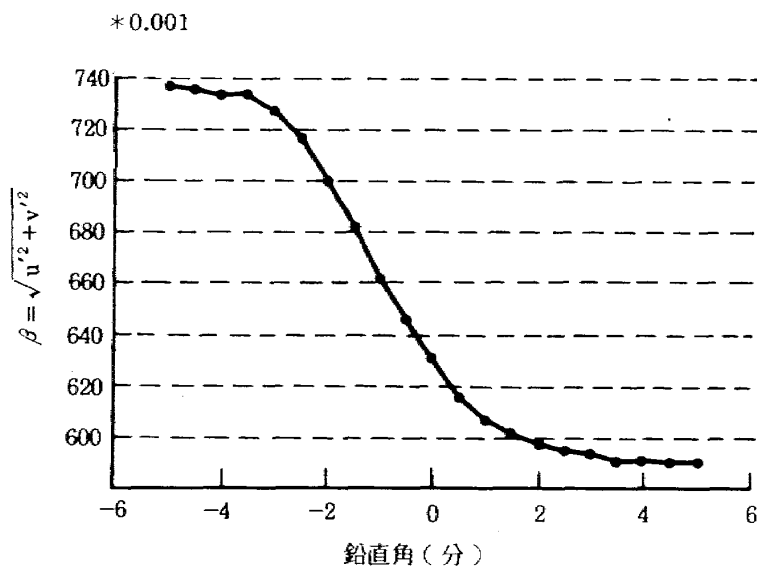
図31 C4灯器



(1) 水平角 0°, 転移層幅 0.9'



(2) 水平角左 7.5°, 転移層幅 2.0'



(3) 水平角右 7.5°, 転移層幅 1.8'

図32 予備カセット

表12 地上性能確認試験結果

PAPI 光学性能点検表																								
61年10月18日(土) 点検日時 15時00分～20時00分																								
	C 4			S 4			C 3			S 3			C 2			S 2			C 1			S 1		
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1
端子電圧 (25V以上)	31.3	31.6	31.4	31.7	31.4	31.5	31.5	31.0	31.7	31.5	31.0	31.3	31.3	31.4	31.2	31.4	31.3	31.5	31.6	31.4	30.4	31.1	30.7	30.0
照度 (I_x)	118	141	105	136	94	118	136	90	110	106	94	110	112	124	88	94	124	105	124	120				
光度 ($I_x \times 20^{\circ}\text{cd}$)	47200	56400	42000	54400	37600	47200	54400	36000	44000	42400	37600	44000	44800	49600	35200	37600	49600	42000	49600	48000				
バラツキ (2分以内)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	
転移層 (3分以内)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦	
設定仰角	2°30'	5°25'	2°50'	5°45'	3°10'	6°15'	3°30'	6°35'																

記事1 照度測定：右図の位置で測定する。(参考値)

2 バラツキ：各光源に対し仰角を測定する。

3 転移層：転移層の異常な増加があるかどうか点検する。(目視)

測定位置

白

赤

0.5°

左

右

検視板

(左)(右) 検視台

通常点検

岐阜飛行場

設定仰角の0.5°上の照度を測定する。

11. 地上性能確認試験結果

岐阜飛行場 RWY 28左側に合計8基の灯器を設置した。設置完了後の地上性能確認試験として端子電圧測定、照度測定、光軸のバラツキ、転移層の鉛直角度の測定を実施した。その結果を表12に示す。

(1) 端子電圧

端子電圧については、各灯器を構成する3個のランプの端子の電圧をそれぞれ電圧計で測定した結果、規定である25V以上を満足する電圧値を得た。

(2) 照度の測定

照度の測定については検視板を用いて、各灯器の設定仰角の0.5°上方位置の照度を照度計にて測定した。その結果、照度が左右で多少違っていることが判明した。しかし、基準値内であるので光軸の微調整を行ったのみで対処した。

(3) 光軸のバラツキ

光軸のバラツキについても検視板の位置で、各灯器の各光源に対し仰角を測定してバラツキの度合を測定した。その結果、各灯器とも設定仰角から2分以内のバラツキに収まっていることが判った。

(4) 転移層の鉛直角度の測定

転移層の鉛直角度の測定については、検視板の位置において、検視板に照射された灯器の光から肉眼で転移層の鉛直角度を読取った。

その結果、各灯器共2分以内であることが判り、基準値を満足することを確認した。

(5) 設定仰角の測定

設定仰角の測定については、検視板を用いて各灯器の設定仰角と光軸のずれにより判定した結果、各灯器の設定精度は±1分であり、基準値を満足する値であった。

12. あとがき

本PAPIは昭和58年度より調査を開始し、昭和59年度にシステム設計に着手、昭和61年度に機器の製作を完了し、昭和61年12月に岐阜基地に設置した。

国内で使用中の在来の進入角指示装置を採用する場合と異なり、新規開発器のPAPIを採用し設置するにあたってはICAOのデザインマニュアル、ICAO ANNEX 14、運輸省交通公害研究所での認定開発中の各種データ報告書をベースとして、航技研STOL実験機の各種着陸試験の際の経路指示試験器材に使用する為の詳細な技術検討を行い採用を決定した。

ICAOのデザインマニュアルにはPAPI設置工事の為の基礎となる詳細なデータの指示はなく運輸省交通公害研究所での認定開発資料及びVASISの設置基準を本工事の基本的技術資料として参考とさせて貰い設置を行った。

設置工事は防衛庁の敷地にPAPIを設置する事情で数度に亘る岐阜基地との調整が必要であった。基地側より多大なる協力を頂き、当所の計画通り設置を完了する事ができた。設置位置については、ICAOデザインマニュアルの8.4.18の項を適用しD₁=250mで測量を行い滑走路勾配を考慮し最終的な灯器の位置PLを決定した。

設置位置の地形は、PAPIを設置するには理想的でなく滑走路横断勾配の下り勾配が大きく又#4灯器側の最端部分は逆に盛り上っており、雨水の溜りが考えられる地形条件下にあった。

従って、#4灯器側より基礎を250mm持ち上げ土盛りをする事により灯器機材が、水につかるのを防ぐのと支柱の高さ制限を許容値内に入れる事ができた。

灯器架台据付け用基礎打ちは設置箇所の地質調査より安定した地質と判りパイルは使用しなかった。

各灯器のレベル、仰角設定を実施し検視板(夜間)による仰角設定値の検証を実施した。結果は20mの位置で約±1分以内に各灯器は設定できていることが判りICAOの基準を十分満足している事になる。

しかし、地上性能確認試験の時、仰角の設定を実施して以来、約1ヶ月後領収検査の為各灯器の仰角設定値の確認を実施した所、1分~2分の変動が見られたため、再調整を実施した。ICAOの

規定値は±1分以内(地上試験)となっておりそれぞれの変動した灯器は特に今後経過観察を行っていく事にした。しかしながら、基礎の地盤等が馴染んで行く事により仰角設定値が安定してくるものと考える。

多数の関係者の方々、特に防衛庁並びに運輸省の方々の多大なご協力ご支援のもとに、PAPI設置は完成の日を見ることができた。工事期間中、特殊な場所柄と国内で初めてのPAPI設置工事であったためいろいろな問題点はあったが、まずは、何より無事故にてこの設置工事を完了したことを、関係者の皆様と共に喜びたいと思う。

今後のSTOL実験機「飛鳥」の飛行試験においてPAPIが着陸進入試験の視覚進入支援装置として十分役目を果たしてくれる事を信じる。

尚今後国内の各飛行場にVASISに替わり視覚経路角指示装置としてこのPAPIが設置運用される計画がJCABにある。PILOTの感点から見ればPAPIは転移層及びコース幅がシャープな為初期はON COURSEを意識しすぎてPIOにもなりかねないので「少し高い」の指示からON COURSEに入れる気楽な感覚で操縦すれば慣れるのも早い(5~10回程)事をアドバイスしたい。

本装置設置工事及び地上性能試験にあたり運輸省交通公害研究所、航空研究室に御指導を頂いた。又、施工及び製造業者である、中央電気工事株式会社及び日本船燈株式会社の関係者の方々に謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) AERODROME DESIGN MANUAL : ICAO 1983
- 2) LICENSING OF AERODROMS APPENDIX OF PAPI : SITTING ANGLES : CAA (英国) Nov. 1985
- 3) ADVISORY CIRCULAR : FAA May. 1985
- 4) ICAO ANNEX 14 (日本語訳) : ICAO Mar. 1983
- 5) PAPI システムの見え方試験計画(案) : 運輸省航空局, 1985
- 6) PAPI : 運輸省航空局, Aug. 1984
- 7) 空港照明 : 運輸省航空局, 1976
- 8) 色差表示の最近の動向 : 照明学会誌, Dec. 1978

航空宇宙技術研究所資料 579号

昭和63年1月発行

発行所 航空宇宙技術研究所

東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1

電話三鷹(0422) 47-5911(大代表)㊦182

印刷所 株式会社 三興印刷

東京都新宿区信濃町12 三河ビル
