

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-581

飛行シミュレーション試験設備
視界模擬装置の構成および機能・性能

若 色 薫 ・ 川 原 弘 靖
渡 辺 顯 ・ 岡 部 正 典

1988年2月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

1. はじめに	1
2. 記号, 略号	2
3. 視界模擬装置の機能, 性能	2
3. 1 視界模擬装置の構成	2
3. 2 視界プロセッサ	3
3. 3 視界表示装置	6
4. 視界模擬装置専用計算機	15
4. 1 視界模擬装置専用計算機本体の機能, 性能	16
4. 2 移動物体コントローラ	16
4. 3 環境制御パネル	17
4. 4 視界模擬装置専用計算機用モニタの機能	19
5. 視界データの転送	20
6. おわりに	22
参考文献	22
付録 視界模擬装置に関連する機能の説明	25
1. 画面計算部	25
2. 走査線計算部	27
3. 光点発生部	27
4. 映像信号発生部	27

飛行シミュレーション試験設備 視界模擬装置の構成および機能・性能[†]

若 色 薫* 川 原 弘 靖*
渡 辺 顯* 岡 部 正 典**

1. はじめに

航空宇宙技術研究所の飛行シミュレーション試験設備の全体構成を図1に示す。この試験設備は、STOL 実験機の研究開発にともない、昭和55年度から第1期（模擬操縦席装置）、第2期（視界模擬装置）、第3期（モーション模擬装置）の3期4ケ年にわたり整備された。本報告書では、図中太線で囲われた視界模擬装置について述べる。

航空宇宙技術研究所で当初（昭和41年度）設置した視界模擬装置は地形模型による閉ループ TV 方式を採用した装置であるが、以下の理由により STOL 実験機等の新型航空機の研究開発を目的としたシミュレーション試験に対応可能な、CGI

（Computer Generated Imagery：電子作画）方式による視界模擬装置を導入するにいたった。

- (1) 設備の老朽化が著しい。
- (2) 飛行範囲が限定される。
- (3) TV カメラ駆動系全体の時間遅れが大きい。
- (4) 自然条件（霧、雲高等）の模擬ができない。

CGI 方式による視界模擬装置は、次の特長を持つ。

- (1) 飛行範囲を広くとれる。
- (2) 表示チャンネルの増加により広い視野角が得られる。
- (3) 自然条件の模擬が可能である。
- (4) 視界の中に移動物体の呈示が可能である。

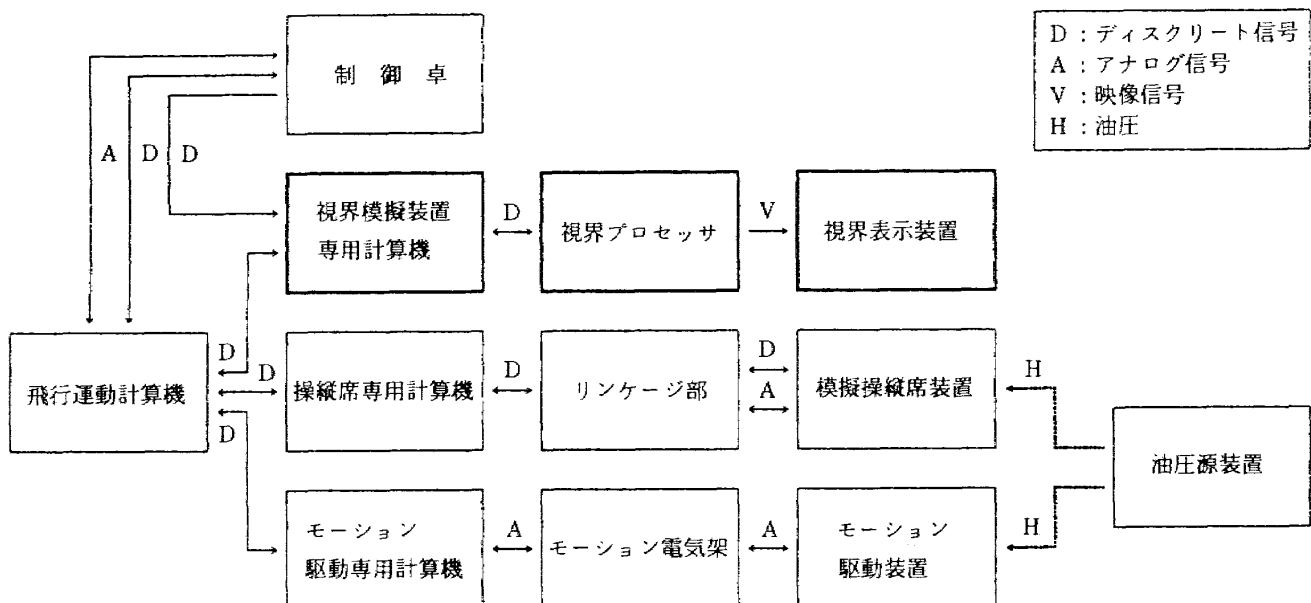


図1 飛行シミュレーション試験設備の全体構成

[†] 昭和62年11月13日 受付

* 計測部

** 飛行実験部

(5) 模擬視界として発生させる地形・建造物等（以下視界モデルと称する）の追加，削除，変更等により試験に即応した視界が得られる。本装置の設計にあたっては，研究用視界模擬装置として以下の点に留意して基本設計を進めた。なお，括弧内は開発時に考えられた目標達成手段である。

- (1) 三次元形状である，視界モデルの作成を容易にする（対話形式を採用した視界モデル作成プログラムの開発）。
- (2) 発生視界は，カラー表示による昼景を模擬可能とする（パイプライン処理による高速三次元映像発生回路の開発と高輝度カラーCRTディスプレイの採用）。
- (3) 夜景に必要な各種光点の発生を可能とする（視界模擬装置に付加可能な，光点専用発生回路の開発）。
- (4) 自然条件（霧，雷光，曇天等）の模擬を容易にする（気象条件を集中的に制御できる，環境制御パネルの開発）。
- (5) 整備性を良くする（各回路の高集積化，モジュール化および自己診断機能の付加）。

3章以降に本装置の構成，機能，性能の概要に

ついて述べる。

なお，本装置は三菱プレジジョン(株)によって開発が行われたものを採用しており，詳細な機能に関しては同社の資料を基に付録にまとめて示す。

2. 記号，略号

BMC	: Burst Multiplexor Channel
BP	: Buttock Plane
CGI	: Computer Generated Imagery
CRT	: Cathode Ray Tube
D/A	: Digital/Analog
FOV	: Field of View
IMAP	: Interactive Model Assembly Program
MCA	: Multi Communication Adapter
NVS	: NAL Visual System
RGB	: Red Green Blue
STA	: Station
VSM	: Visual System Monitor
VTOL	: Vertical Take Off and Landing

3. 視界模擬装置の機能，性能

3.1 視界模擬装置の構成

視界模擬装置 (NVS) の構成を図2に示す。主

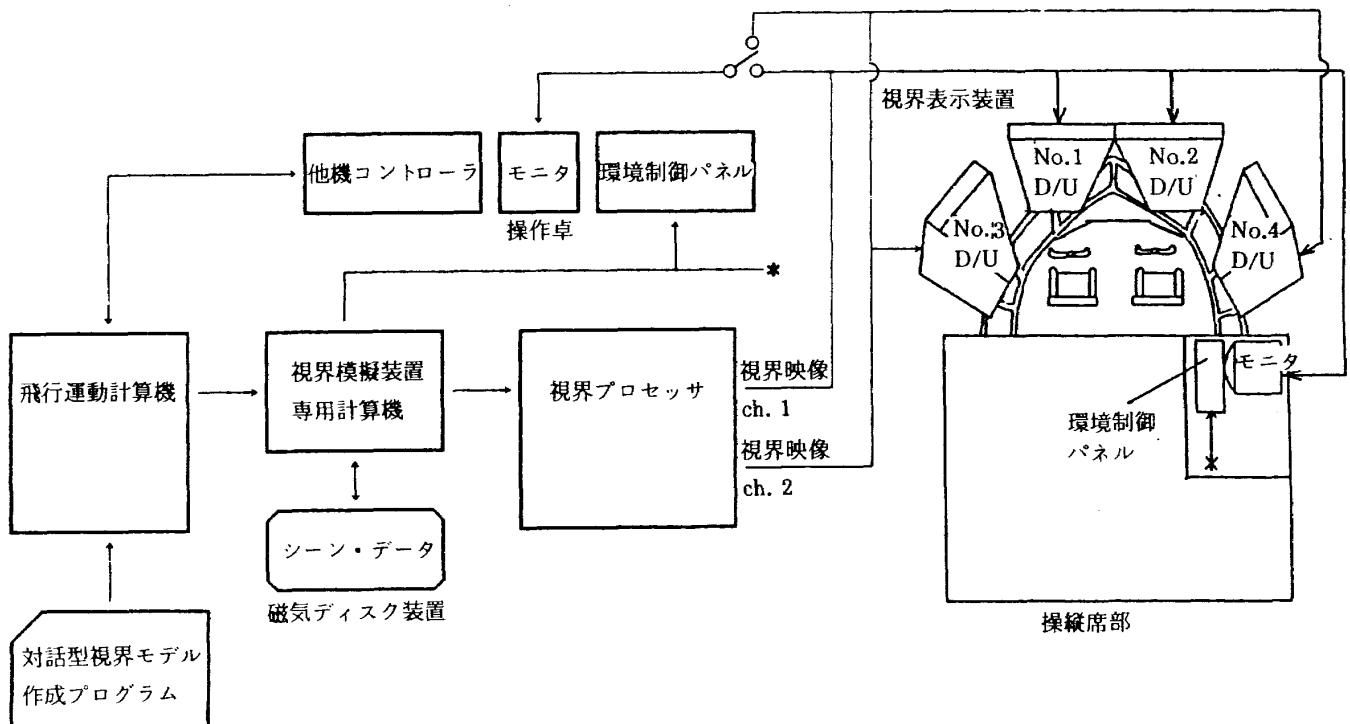


図2 視界模擬装置 (NVS) の構成

な構成要素は以下の通りである。

- (1) 視界プロセッサ
- (2) 視界表示装置
- (3) 視界模擬装置専用計算機
- (4) 飛行運動計算機（視界モデル作成用）
- (5) 対話型視界モデル作成プログラム(IMAP)

各構成要素および付属する装置の機能、性能について以下に記述する。

なお、視界モデルの作成に必要な計算機装置と対話型視界モデル作成プログラムの機能、性能、操作法等については別稿で記述する。

3.2 視界プロセッサ

視界プロセッサは、後で述べる視界模擬装置専用計算機からの視界情報（パイロットの視点位置等）により、あらかじめ装置内に格納されたシーン・データを用いて模擬視界映像を電子的に発生

する装置である。視界プロセッサの性能を表1に示す。

3.2.1 視界プロセッサの構成、機能

視界プロセッサの構成を図3に示す。以下に各構成要素の機能について述べる。

なお、詳細な機能の説明については付録に示す。

(1) 画面計算部

画面計算部は、次の動作を行う。

- (a) 視界模擬装置専用計算機から転送されてくる視界情報（視点位置、視線方向等）に基づいて、シーン・データからパイロットの視野内に存在する視界モデルを選択し、隠面処理のための優先順位の計算を行う。
- (b) 視界モデルに対して、スクリーン座標変換、透視変換を行い、映像信号の1画面分に相当するフレーム・データの作成を行う。

表1 視界プロセッサの性能

(1) 画像発生方式	: CG 1
(2) チャネル数	: 2
(3) CRT	:
ラスタ数	: 1000本
ドット数	: 1300/ラスタ
インターレス	: 2: 1
サイズ	: 26インチ (モニタは20インチ)
(4) エリア数	: 100 (max)
(5)ゲーミングエリア	: 330Km×330Km
(6) エリア最大容量	: 10000エッジ+10000光点
(7) 実時間処理容量	: 4000エッジ+2000光点 または、 2000エッジ+4000光点
(8) エッジインターセクション/ラスタ	: 127本 (max)
(9) 隠頭レベル	: 128 (max)
(10) 面の明るさ	: 256段階
(11) 面の色	: 64色 (任意指定)
(12) 面の色彩	: 8通り
(13) 光点数/ラスタ	: 127個 (max)
(14) 光点指向性	: 2種 (球状、ビーム状)
(15) 光点の色	: 16色 (任意指定)
(16) 光点の明るさ	: 64段階
(17) 特殊効果	: 太陽位置変化 (朝、昼、夕、夜) 雲高制御 天候制御、雷光 Visibility (0~∞) スムーズシェイド スムーズフェード エッジスムーズイング
(18) 移動物体コントローラ	: 自機+7他機
(19) 画面更新周期	: 30Hz
(20) 画面遅れ	: 50msec (1.5画面分)

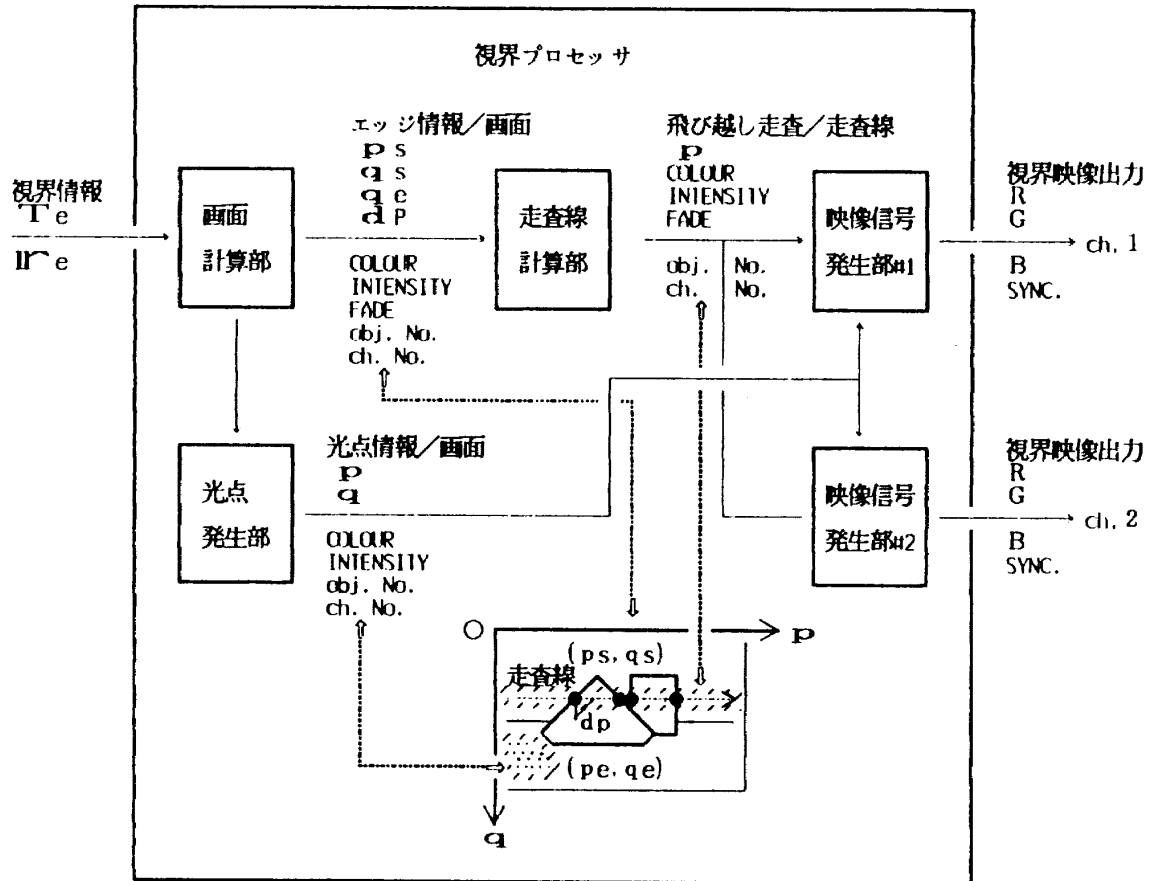


図3 視界プロセッサの構成

(c) フレーム・データをエッジ・データに変換し、次段の走査線計算部に出力を行う。

(d) 光点データに関しては優先順位をつけて光点発生部に出力を行う。

(2) 走査線計算部

走査線計算部は、次の動作を行う。

(a) 画面計算部から出力されてくるオブジェクトに関するエッジ・データをエッジリストメモリに蓄える。

(b) 映像信号の飛越し走査に対応して、エッジリストメモリからソート回路を通して、エッジ・データの順次読み出し(毎フレーム1000回)を行う。

(c) 走査線ごとにエッジと走査線との交点位置および交点におけるエッジの明るさを計算し、オブジェクトの優先順位に基づきエッジ同士の隠面処理を行う。

(d) 処理結果を走査線データとして映像信号発生部に出力を行う。

走査線計算部の構成を図4に示す。

(3) 光点発生部

光点には、無指向性と有指向性の特性を持つ通常光点とランウェイ・ライト、アプローチ・ライト、ストロープ・ライト、バシスの特殊光点がある。

光点発生部は、次の動作を行う。

(a) 画面計算部から出力される光点データに対して座標変換、透視変換、平点輝度の計算をフレームに同期して毎秒30回行う。

(b) 計算結果を次段の映像信号発生部に対して光点データとして出力を行う。

(4) 映像信号発生部

映像信号発生部は、次の動作を行う。

(a) 走査線計算部から送られてくる走査線データをビデオメモリに格納を行う。

(b) 走査周期に同期してビデオメモリから走査線データを読みだし、エッジより構成される面の色と輝度の計算を行い、映像データを作

成する。

- (c) 映像データと光点発生部から出力されてくる光点データの隠面処理を行う。
- (d) 隠面処理結果を赤、緑、青の色信号に分解し、それぞれをデジタル/アナログ変換する。変換された RGB 方式の映像信号をバッファアンプを通して視界表示装置に出力を行う。

映像信号発生部の構成を図 5 に示す。

3.2.2 特殊効果

視界プロセッサが有する特殊効果としては以下のものがある。

(1) スムーズシェイド

視界模擬装置で発生する視界モデルは、装置の特性上全て凸多面体で構成する必要がある。その

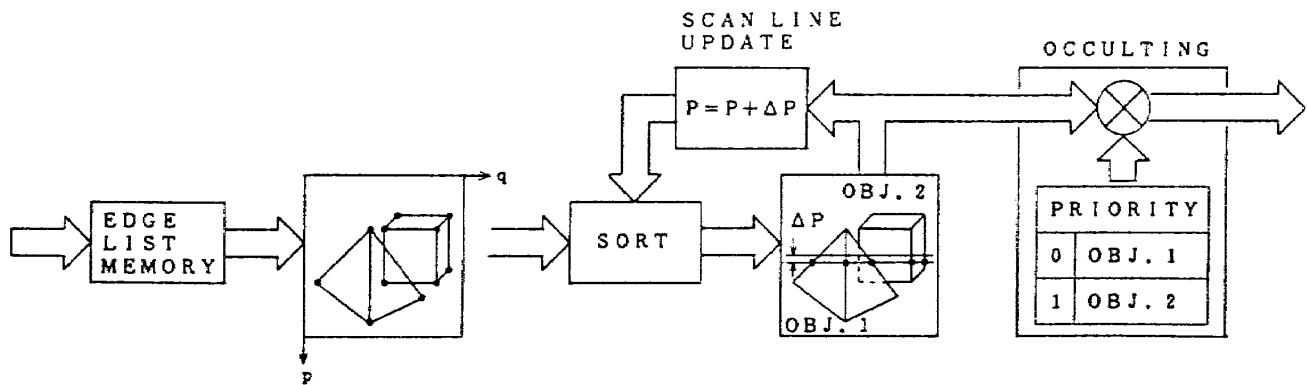


図4 走査線計算部の構成

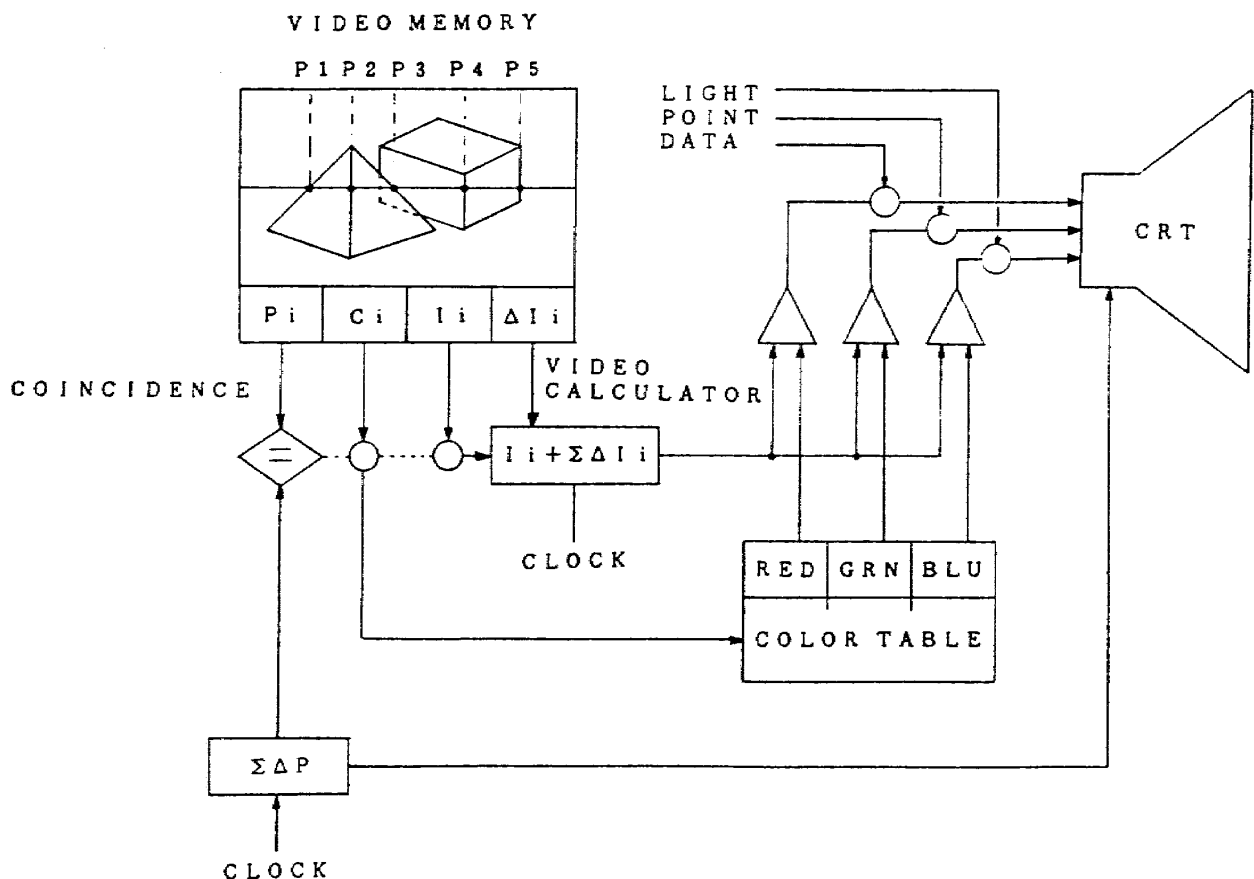


図5 映像信号発生部の構成

ため円筒形などの曲面を持った物体を作成する場合には凸多面体で作成を行い、スムーズシェイドにより各面に連続的な陰影付けを行い、あたかも丸味があるように見せている。

本装置ではスムーズシェイドを行うにあたり、Phongまたは法線補間法と呼ばれるシェーディング技法を用いている。

図6にスムーズシェイドの例を示す。

(2) スムーズフェード

視界模擬装置において近景から遠景にかけて連続的な霧の模擬を行う機能をいう。

通常見られる景色は、空気中のチリなどの散乱により遠景ほど白く霧がかかったように見える。これを模擬するために水平線に近づく（遠景）ほど視界モデルの表示色に近付けてある。

また、霧の模擬に関しては、この効果を強めて用いることにより行う。

図7にスムーズフェードの例を示す。

(3) エッジスムージング

水平線に対して微少な傾きを持った直線を描い

た場合、走査線にまたがった部分では直線が階段状に描かれる。この階段状直線が滑らかな直線に見えるよう修正を行う機能をエッジスムージングという。

本装置では、走査線ごとに横切るエッジの判定を行っているため、エッジの近傍においては背景とエッジの色および輝度を緩やかに変化させ、エッジと背景との境目を鮮明に表示させないことにより行っている。

図8にエッジスムージングの例を示す。

3.3 視界表示装置

視界表示装置は、視界プロセッサで作成されたRGB方式の映像信号をテレビ映像に変換する機能を有し、以下の要素より構成される。

- (1) 表示ユニット
- (2) CRT ディスプレイ
- (3) 遮光布
- (4) 外部モニタディスプレイ

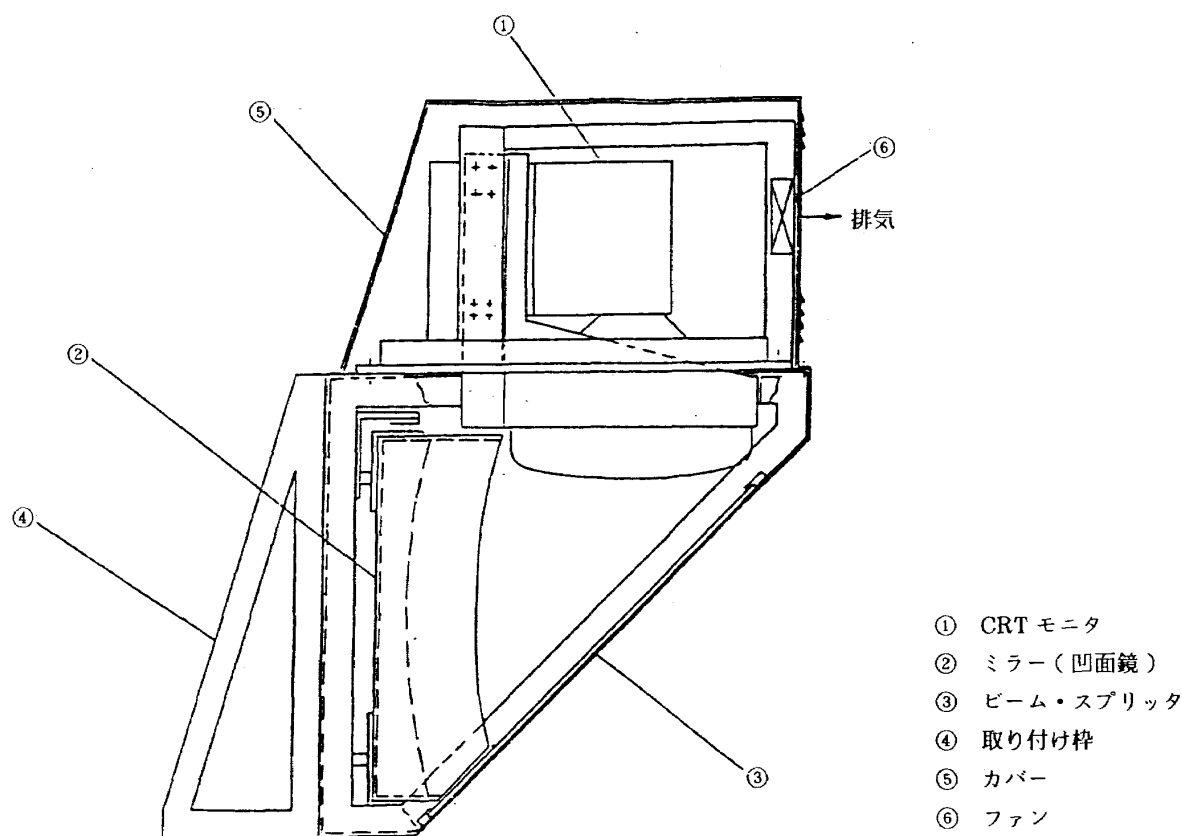
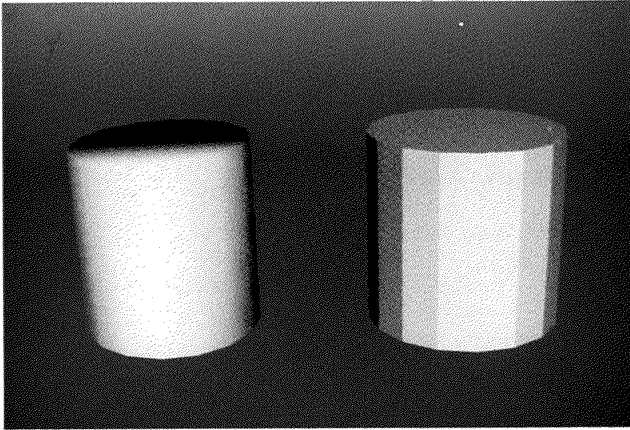


図9 表示ユニットの構成

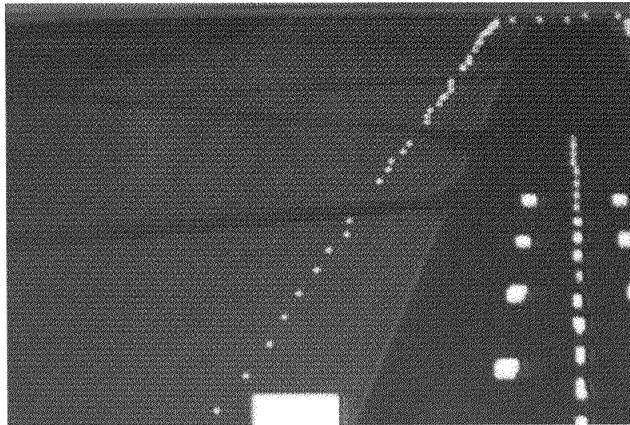


スムーズシェード有り スムーズシェード無し

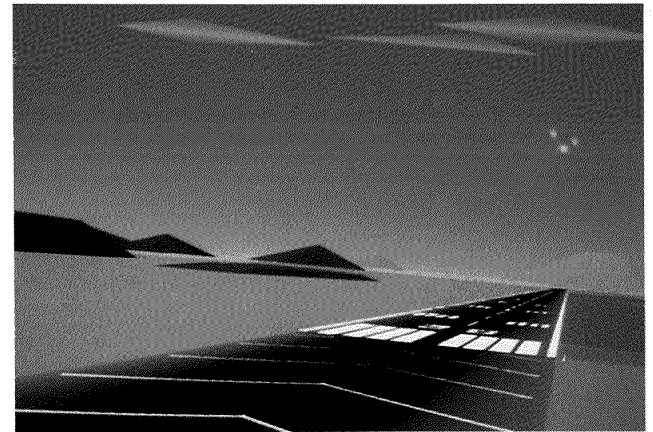
図6 スムーズシェードの例



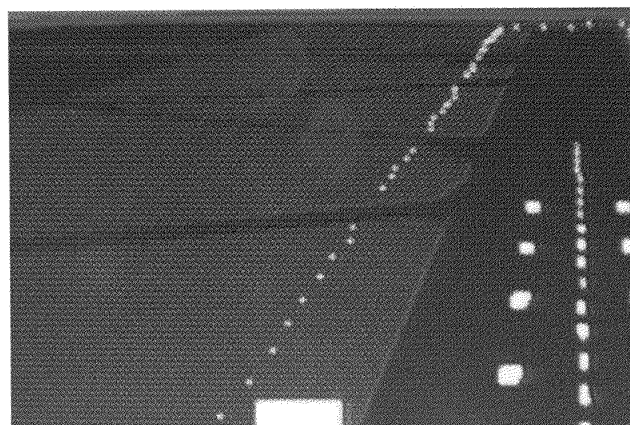
スムーズフェード無し



エッジスムージング有り



スムーズフェード薄



エッジスムージング無し



スムーズフェード濃

図8 エッジスムージングの例

図7 スムーズフェードの例

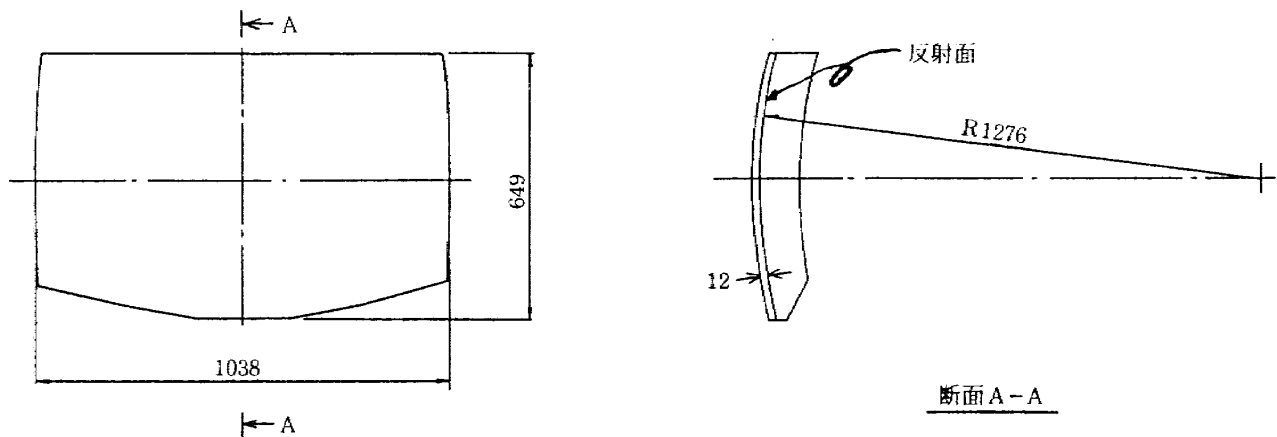


図10 凹面鏡の外形

3.3.1 表示ユニットの構造、性能

表示ユニットは、凹面鏡とビーム・スプリッタ（ハーフ・ミラー）を組み合わせた無限遠表示装置である（原理に関しては文献3に示されている）。

以下に主要構成の説明を述べる。表示ユニットの構成を図9に示す。

(1) 凹面鏡

凹面鏡は、曲率1276mmのソーダ石灰ガラスにアルミ蒸着で鏡面を形成したものである。

凹面鏡の外形を図10に、性能を表2に示す。

(2) ビーム・スプリッタ

ビーム・スプリッタの反射面は、反射率45%透過率45%のハーフ・ミラーで、入射光の反射を防ぐため無反射コーティングが施されている。

ビーム・スプリッタの外形を図11に、性能を表3に示す。

(3) 取り付け枠

取り付け枠は、凹面鏡、ビーム・スプリッタ、CRT ディスプレイを取り付けるための構造枠である。

また、凹面鏡に関しては上下前後に取り付け位置調整が可能な構造である。

(4) カバー

CRT カバーおよび枠パネルはワンタッチ・ファスナで取り付けられ、内外面は乱反射防止のために黒色艶消の塗装が行われている。

(5) 吊り下げ金具および支持台

表示ユニットは図12に示すような重心位置を持

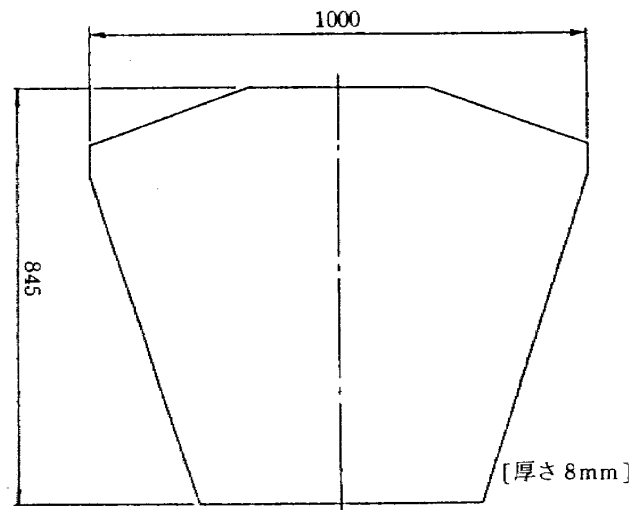


図11 ビーム・スプリッタの外形

表2 凹面鏡の性能

項 目	特 性
機 質	ソーダ石灰ガラス
表面処理	アルミ＋酸化シリコン（保護膜）
反 射 率	75%以上
表面研磨精度	0.025μmφでニュートンリング7本

つ物であり、単体で床面に置いた場合には前倒しになるため、図13に示す支持台が設けられている。

また、単体で約250kgの表示ユニットを取り扱うために吊り下げ用アイ・ボルトを図12のように

表3 ビーム・スプリッタの性能

項 目	特 性
機 質	ソーダ石灰ガラス
表面処理	表側 Tiハーフミラーコーティング 裏側 反射防止コーティング
反射率/透過率	45% / 45%

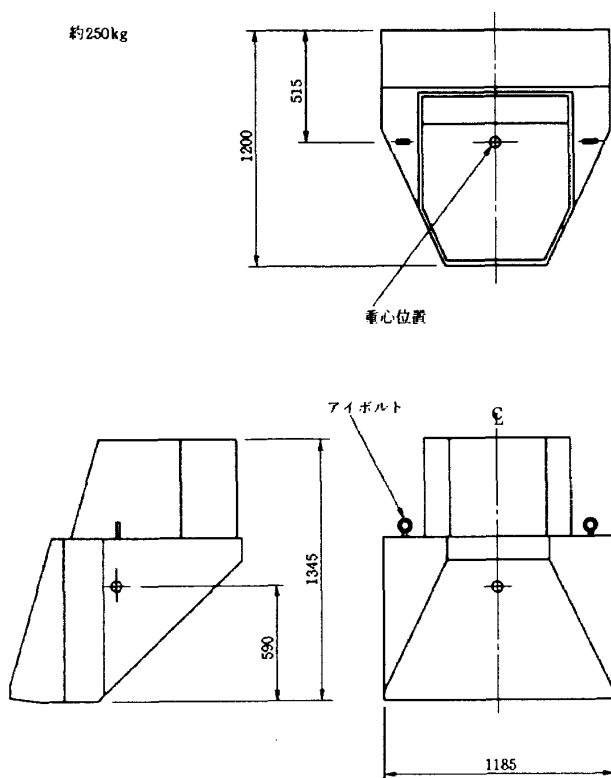


図12 表示ユニットの外形

取り付けた。

(6) 操縦席取り付け架台

模擬操縦席前方および両側方風防に表示ユニットを設置するための支持架台を製作した。

なお、支持架台はアルミニウム合金を用いた構造体とし、軽量化と強度を確保してある。

前方風防に設置する表示ユニットは3箇所の取り付け位置が選択できるような設計を行った。これについては、後節で詳述する。

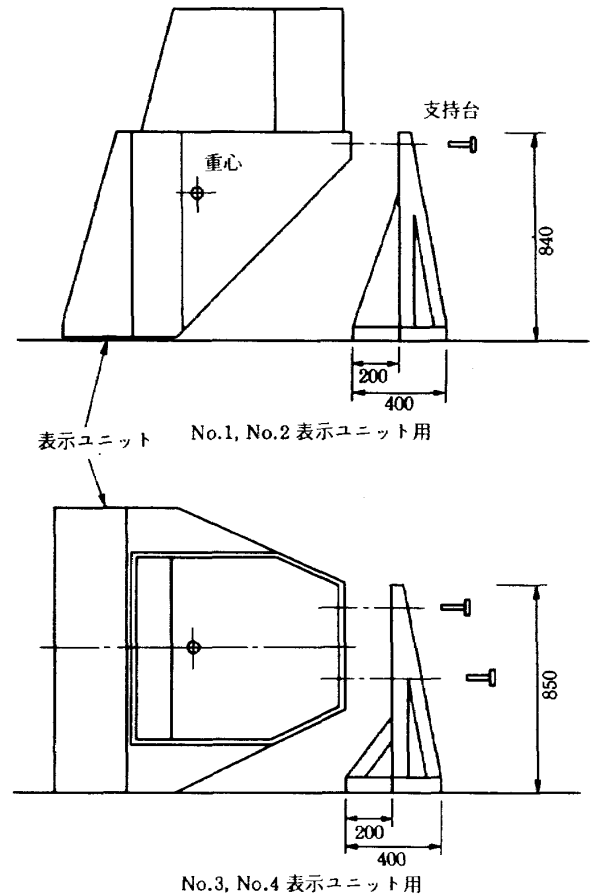


図13 表示ユニット用支持台の外形

3.3.2 CRT ディスプレイ

表示ユニットのCRTディスプレイは26型を使用し、外部モニタディスプレイは20型を使用した。表4に電氣的仕様を示す。

視界模擬装置では、このCRTディスプレイを用いることで縦1000×横1300画素/画面の分解能を持つ高品位画像を得ている。図14に映像信号のタイミング・チャートを示す。

外部モニタディスプレイはシーン・データ作成用と機上制御卓用に各1台設置した。外部モニタディスプレイの外観を図15に示す。

3.3.3 遮光布

表示ユニットと模擬操縦席風防との間からの入光を防ぐための遮光布を製作した。

生地は内側に黒色のビロードを、外側に乳白色のビニールレザーを用い、装着はベルクロテープ（マジックテープ）により取り付けと取り外しが容易になっている。

表4 CRT ディスプレイの性能

項 目	性 能
使用電源電圧	AC100V、110V、120V、240V、±10% (タップ切替) 50/60Hz
消費電力	約280VA
入力信号	①映像信号: 0.3~2.0Vp-p、赤・青・緑の複合映像信号、正極性 ただし、緑信号のみ複合映像信号でも可 ②外部同期信号: 1.0~5.0Vp-p、複合同期信号、負極性 75Ωまたは高インピーダンス (ブリッジ出力用)
映像入力インピーダンス	手動
インピーダンス切替	BNC接栓
入力信号コネクター	①水平: 31.5kHz ②垂直: 60Hz
走査周波数	最大480W×350H (mm)
表示寸法	赤・緑・青 3電子銃、シャドーマスク形
ブラウン管	3:4
アスペクトレシオ	55MHz±3dB以内
映像周波数特性	・温度 -5°C~40°C
使用周囲温度湿度	・湿度 0% ~95% (露結のないこと)
ブランキング時間	・水平 6.15μs ・垂直 0.5ms
リニアリティ	7%以内 ただし、計算式は $\frac{MAX-MIN}{MEAN} \times \frac{1}{2} \times 100 (\%)$
ラスター歪	1.5%以下
コンバーゼンス	・垂直高さの円内 0.65mm以下 ・その他 1.35mm以下
画面幅変動	1%以下 (ビーム電流 0~500μA) 輝度 0~100%において1%以内 10%~90%の映像変化に対して2%以内
ディファレンシャルゲイン	5%以下
画像ゆれ	50cm離れた距離より見て目立たない。
動作予備時間	最大30分
パルス特性	・立ち上がり時間 11ns以下 ・立ち下がり時間 11ns以下
X線輻射	筐体より5cm離れた所で0.5mR/h以下

3.3.4 視野角 (FOV) および表示ユニット位置

表示ユニット単体の視野角を図16に示す。図16では眼の位置を標準視点に固定した場合の視野角を示しているが、眼の位置は多少の移動が可能であるため実際の視野角は図16に示した視野角より広くなる。

(1) 前方表示ユニット

研究開発用シミュレーション試験においては、機長側あるいは副操縦士側のどちらか片方による試験が多く行われる。

このため表示ユニットの設置位置は、主評価席の視野をなるべく広くすることを目的に以下の検討を行った。

討を行った。

表示ユニットを両操縦席均等に配置する場合には、図17に示すように二つの表示ユニットの内側（黒く塗りつぶした部分）を切断しなくてはならない。

このことは必然的に水平視野角を狭くすることになるので、表示ユニットに対する加工は行わず、取り付け位置を図18に示すようにa, b, cの3点に移動する方式とした。

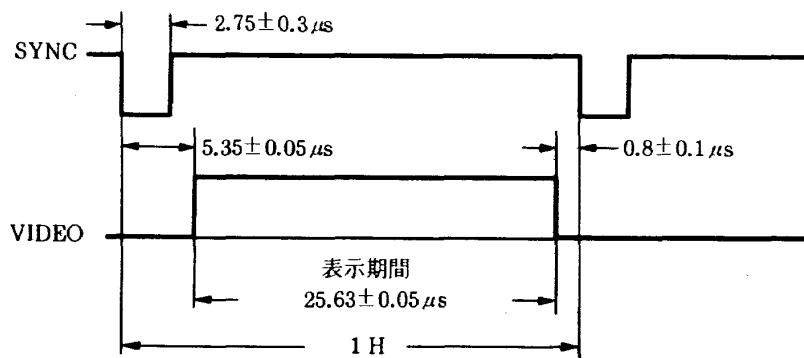
(a) 機長席優先

(b) 両席均等（ただし約90mm中心線がずれる）

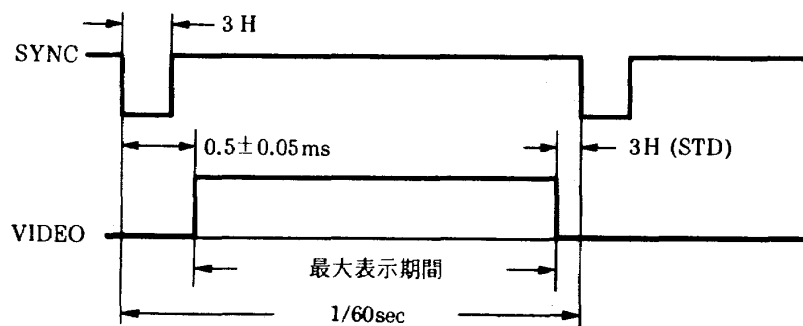
(c) 副操縦士席優先

(2) 側方表示ユニット

水平周期内表示タイミング



垂直周期内表示タイミング



ただし、 $1H = 31.78 \pm 0.05 \mu s$

$HS = 25.63 \pm 0.05 \mu s$

$HB = 6.15 \pm 0.05 \mu s$

インターレス 2:1

表示走査線数 1000本

走査線数 1049本

図14 映像信号タイミング・チャート

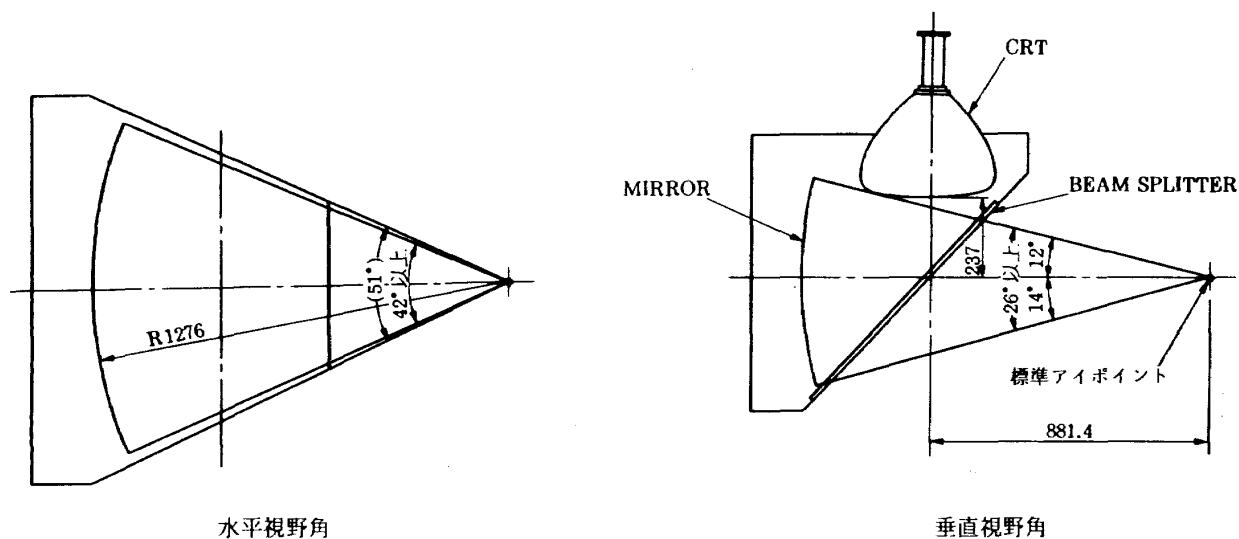


図16 表示ユニット単体の視野角

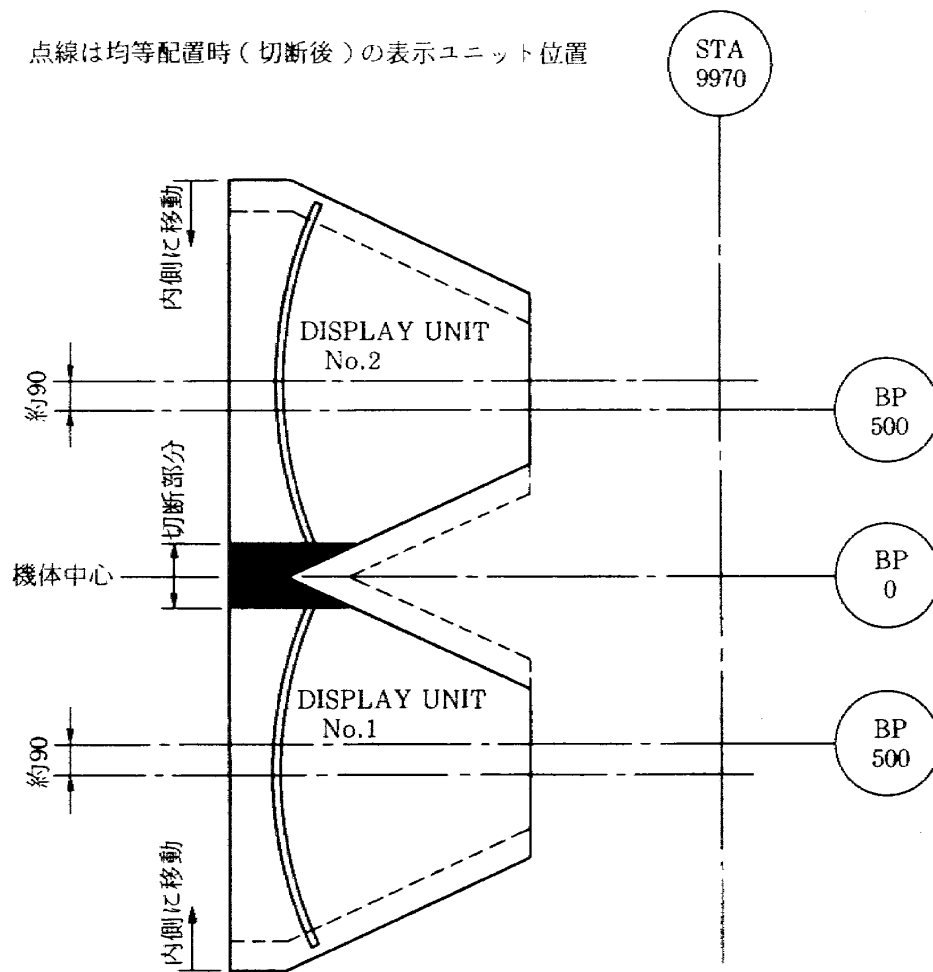


図17 表示ユニットの均等配置と切断部分

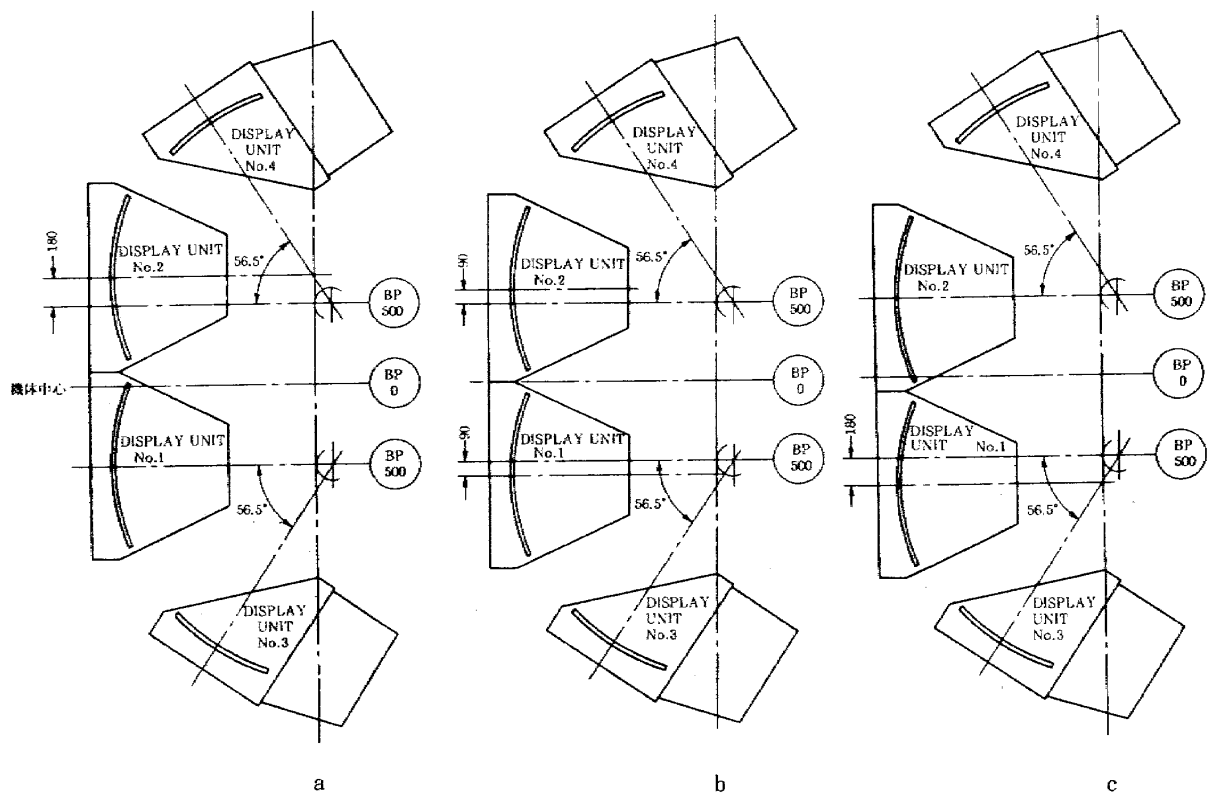


図18 表示ユニットの各種配置位置

機長および副操縦士席側方の表示ユニットは、次の理由で縦置きとした。

- (a) 下方視界を広くとる。
 - (b) バンク時の水平線の上下移動をなるべく視野内におさめる。
 - (3) 視野角
- 表示ユニットを機長席優先とした配置と副操縦

士席優先とした配置を比較した場合、視野角は左右対称となり、同一である。

機長席優先とした場合（図18a）の視野角を図19（機長席）、図20（副操縦士席）に示す。

また、図20の副操縦士席用 No.4 表示ユニットの表示チャンネルは、機長席用 No.3 表示ユニットの表示チャンネルを切り換えて使用する。

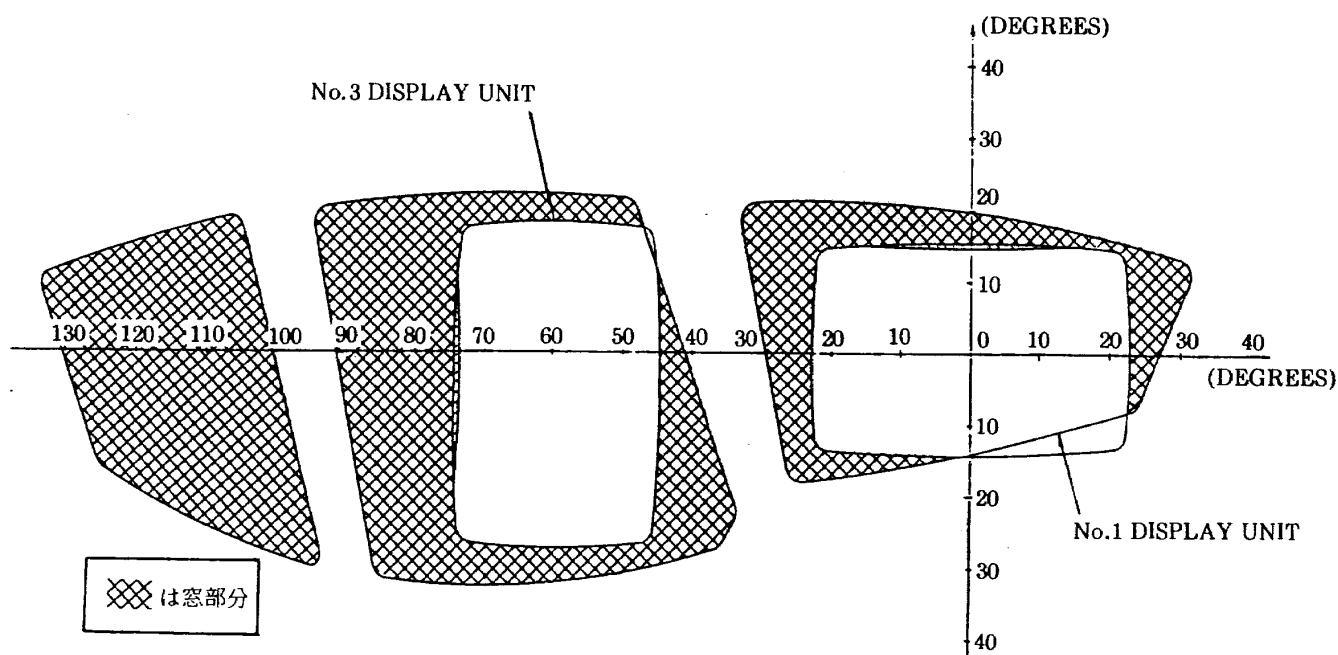


図19 機長席の視野角（機長席優先時）

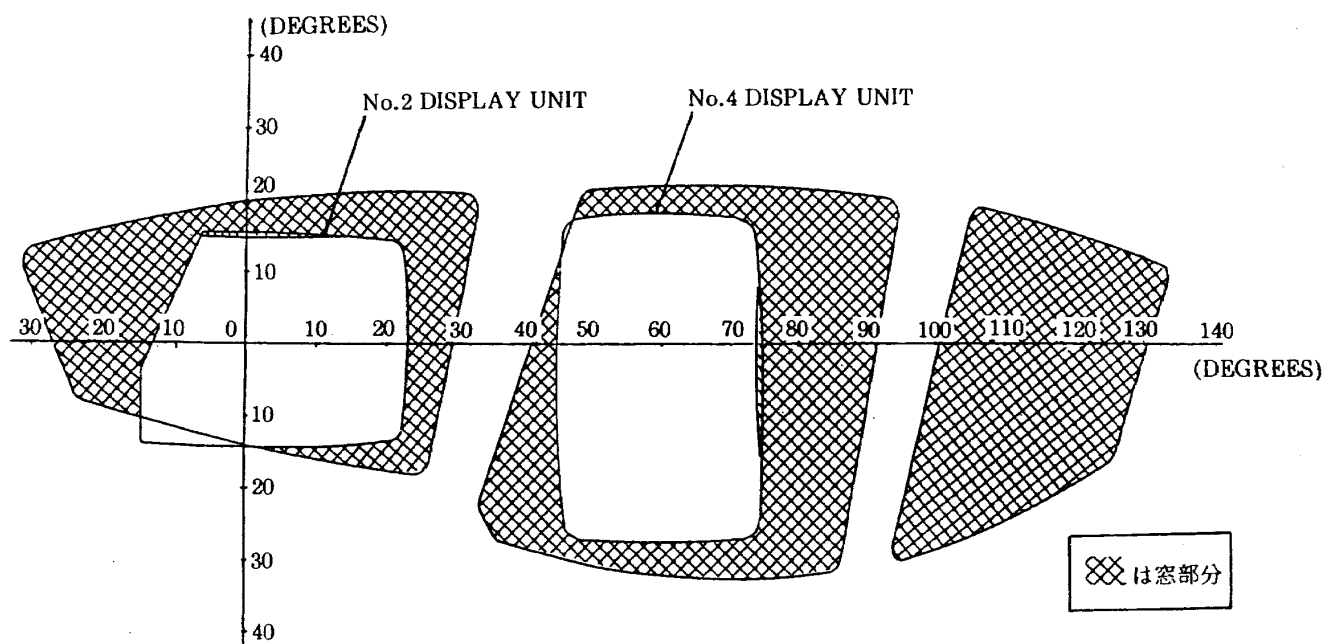


図20 副操縦士席の視野角（機長席優先時）

この表示チャンネルの切り換えは、シミュレータ計算機からソフトウェアにより切り換えることも可能である。

次に図18bに示す両席均等とした場合の視野角を図21に示す。両席とも中心部上部が欠けていることが分かる。

4. 視界模擬装置専用計算機

視界模擬装置専用計算機は、以下の要素により構成される。

- (1) 視界模擬装置専用計算機本体
- (2) 移動物体コントローラ

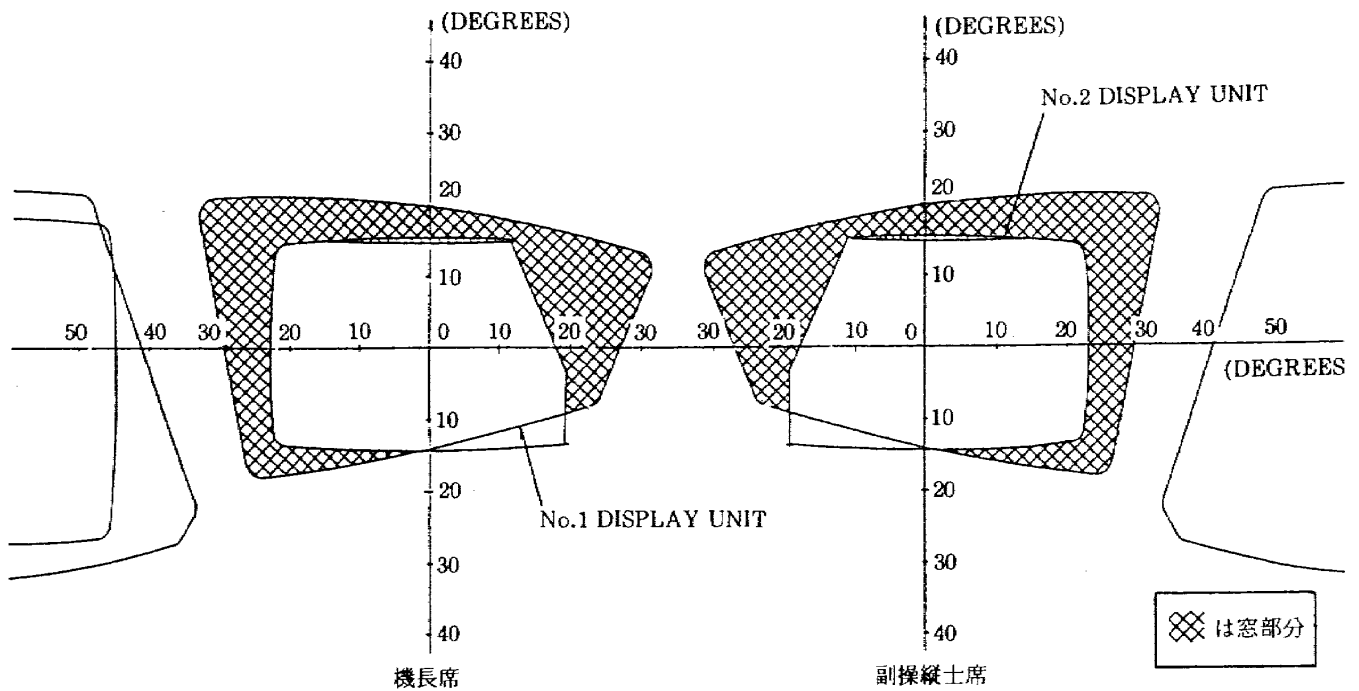


図21 両席均等配置時の視野角

表5 S/140 システムの構成と性能

構 成	性 能
中 央 処 理 装 置	メモリ・ワード長 16 bit メモリ容量 256 KB メモリ・アクセスタイム 0.2 msec メモリ・タイプ MOSメモリ
浮動少数点演算機構 (FPU)	単精度、倍精度演算可
磁気ディスク装置	記憶容量 10 MB 平均回転待ち時間 12.5 msec 平均ヘッド位置決め時間 45.0 msec トラック密度 200/インチ
デ ィ ス ケ ッ ト	記憶容量 1.26 MB
汎 用 入 出 力 装 置	ディスクリート出力 16チャンネル ディスクリート入力 16チャンネル
タ ー ミ ナ ル	D A S H E R D 1 0 0
データ転送ライン	M C A 300 KB/sec B M C 10 MB/sec

M C A : Multiprocessor Communication Adapter

B M C : Burst Multiplexor Channel

- (3) 環境制御パネル
- (4) 視界模擬装置専用計算機モニタ

格納、飛行運動計算機から転送されて来る視点情報および移動物体情報の処理、環境制御、視界プロセッサの制御を行う。

4.1 視界模擬装置専用計算機本体の機能、性能

視界模擬装置専用計算機本体は、ECLIPSE S/140ミニコンピュータ・システム（日本・データゼネラル製）で構成される。表5に本システムの構成と性能を示す。

視界模擬装置専用計算機は、シーン・データの

4.2 移動物体コントローラ

視界模擬装置では、視界内の移動が可能な物体（航空機、船舶、車両、吹き流し、旗など）を最大7個まで模擬することができる。

移動物体コントローラは、実験者が一つの移動物体を手動で制御するための簡易型操作装置とし

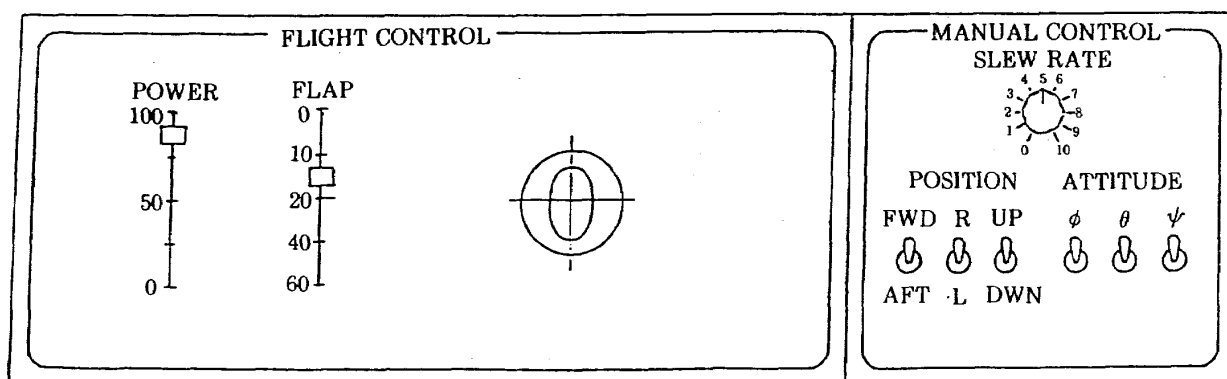


図22 操作パネルの外観

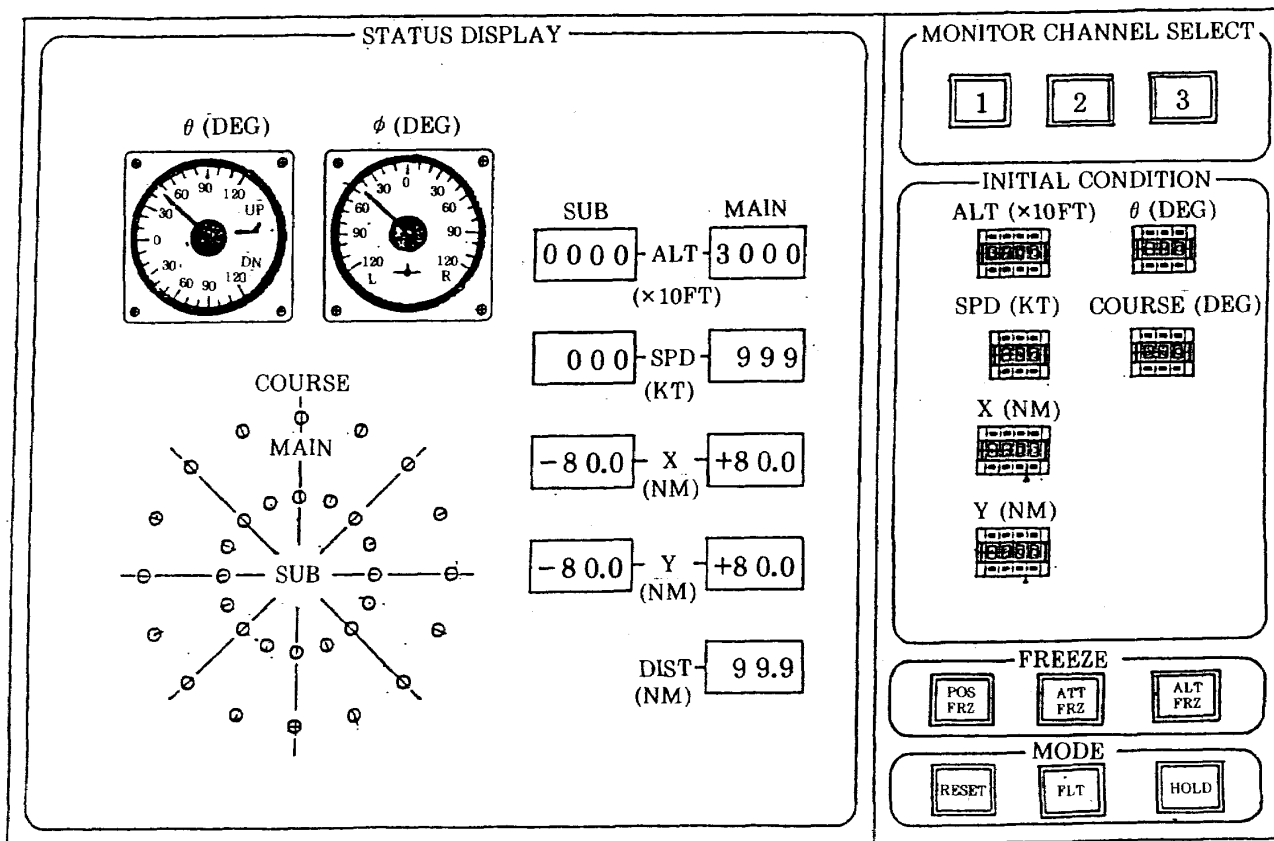


図23 姿勢指示パネルの外観

て設計したものである。

飛行運動計算機は、移動物体コントローラ上の操作パネル(図22)からの入力信号により、視界模擬装置に対して移動物体の制御に必要な情報の転送を行う。

また、飛行運動計算機は、移動物体を実験者が制御する上で必要な情報を移動物体コントローラの姿勢指示パネル(図23)に表示を行うことも可能である。

移動物体コントローラの機能を表6と表7に示

す。

4.3 環境制御パネル

模擬視界の環境(昼夜、天候、視程、雲高等)を変化させることにより、現実的でかつ試験に即した映像が得られる。この選択のできる環境制御パネルを設計した。

環境制御パネルからの制御信号により、視界模擬装置専用計算機は表8に示すような各種環境の処理を行う。

表6 移動物体コントローラの機能(その1)

名 称	設定/表示範囲	機 能	備 考
STATUS DISPLAY	θ	$\pm 120^\circ$	移動物体のPITCHを表示する。
	ϕ	$\pm 120^\circ$	移動物体のROLLを表示する。
	COURSE SUB MAIN	全方向 (360°)	移動物体(SUB)および自機(MAIN)のCOURSEを表示する。
	ALT SUB MAIN	0~9000m (0~30000ft)	移動物体および自機の高度を表示する。
	SPD SUB MAIN	0~513.89m/s (0~999kt)	移動物体および自機を表示する。
	X SUB MAIN	± 148160 m (± 80 NM)	移動物体および自機のX位置を表示する。
	Y SUB MAIN	± 148160 m (± 80 NM)	移動物体および自機のY位置を表示する。
	DIST	0~185014.8m (0~99.9NM)	移動物体と自機間の距離を表示する。
INITIAL CONDITION	ALT	0~9000m (0~30000ft)	初期高度の設定を行う。
	SPD	0~513.89m/s (0~999kt)	初期速度の設定を行う。
	X	± 148160 m (± 80 NM)	初期位置(X座標値)の設定を行う。
	Y	± 148160 m (± 80 NM)	初期位置(Y座標値)の設定を行う。
	θ	$\pm 99^\circ$	初期迎角の設定を行う。
	COURSE	0~185014.8m (0~99.9NM)	初期方位角の設定を行う。
FREEZE	POS FRZ	ON/OFF	ONの時に移動物体の位置をFREEZEする
	ALT FRZ	ON/OFF	ONの時に移動物体の高度をFREEZEする
	ATT FRZ	ON/OFF	ONの時に移動物体の姿勢をFREEZEする

表7 移動物体コントローラの機能(その2)

名 称		設定/表示範囲	機 能	備 考
MODE	RESET	ON/OFF	ONの時にINITIAL CONDITIONの設定値にRESETする。	
	FLT	ON/OFF	ONの時に移動物体が飛行する。	
	HOLD	ON/OFF	ONの時に移動物体がHOLDする。	
FLIGHT CONTROL	JOY STICK	$\pm 30^\circ$	姿勢の制御を行う。	
	POWER	0~100	POWERの制御を行う。	
	FLAP	0~60	FLAPの制御を行う。	
MONITOR CHANNEL SELECT	1	ON/OFF	視界モデル作成用CRTモニタに表示すべきチャンネルを選択/表示する。	チャンネル3は暫定的とする。
	2	ON/OFF		
	3	ON/OFF		
MANUAL CONTROL	SLEW RATE	0~10	POSITIONおよびATTITUDEのSLEW RATEを設定する。	
	POSITION FWD/AFT R/L UP/DN	上、中、下 上、中、下 上、中、下	制御対象の位置を以下の様に制御する。 上-前進、中-不動、下-後退 上-右進、中-不動、下-左進 上-上昇、中-不動、下-降下	
	ATTITUDE ϕ θ ψ	上、中、下 上、中、下 上、中、下	制御対象の姿勢を以下の様に制御する。 ロール変化 上-増加、中-不変、下-減少 ピッチ変化 上-増加、中-不変、下-減少 ヨー変化 上-増加、中-不変、下-減少	

表8 環境制御パネルの機能

名 称		設 定 範 囲	機 能	備 考
AREA		0～99	エリアの選択を行う。	
TIME	MORNING	ON/OFF	太陽位置および輝度を選択する。	
	DAY	ON/OFF		
	DUSK	ON/OFF		
	NIGHT	ON/OFF		
WEATHER	FINE	ON/OFF	CLOUDY選択時に太陽輝度を下げる。	
	CLOUDY	ON/OFF		
	LIGHTING	ON/OFF	雷光を模擬する。	
CLOUD TOP		0～3000m (0～10000ft)	雲高上限を30m(100ft)単位で設定する。	雲中に入ると視界不良となる。
CEILING		0～3000m (0～10000ft)	雲高下限を30m(100ft)単位で設定する。	
VISIBILITY		0～32km	視程を選択する。	8段階変化
HUE		1～8	色調を選択する。	
APPROACH LIGHT INTENSITY		0～7	アプローチ・ライトの輝度を変化させる。	0で消灯
RUNWAY LIGHT INTENSITY		0～7	ランウェイ・ライトの輝度を変化させる。	0で消灯

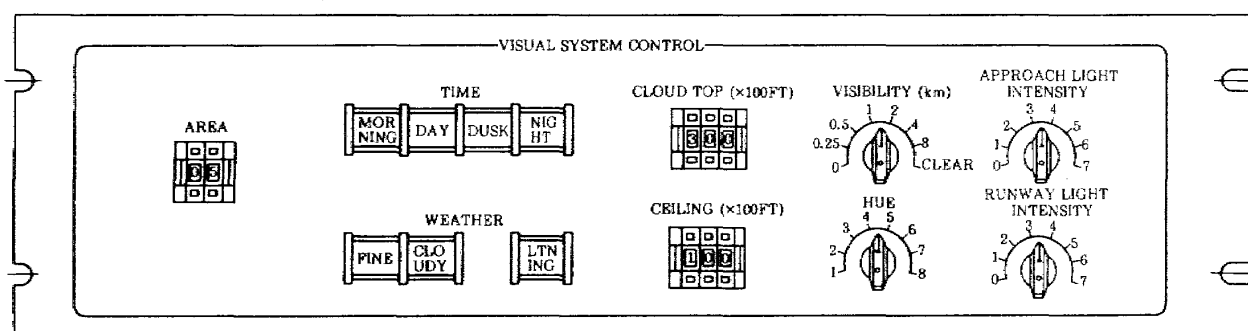


図24 環境制御パネルの外観

なお、環境制御パネルは操作室内の制御卓と模擬操縦席内の機上制御卓の2箇所に設けてあり、切り換えスイッチにより制御権の選択ができる。

さらに環境制御パネルから行う環境制御を飛行運動計算機からソフトウェア制御により視界模擬装置に対して行うことも可能とした。

環境制御パネルの外観を図24に示す。

4.4 視界模擬装置専用計算機用モニタの機能

視界模擬装置専用計算機のモニタ用ソフトウェア (VSM) の機能を以下に示す。

4.4.1 飛行運動計算機とのデータ交換

視界模擬装置と飛行運動計算機とは、低速データ・バス (MCA) と高速データ・バス (BMC) とで結合されており、実時間シミュレーション時には、BMC を使用して10m/sec の周期で視界発生に必要な視線方向、視点位置、移動物体位置等の情報が飛行運動計算機から視界模擬装置に転送される。

4.4.2 シーン・データの保存

IMAP で作成されたシーン・データは、視界模擬装置専用計算機に接続された磁気ディスク装置に保存される。

磁気ディスク装置は、カートリッジ・タイプのため必要に応じて磁気ディスクの交換ができ、シーン・データの保管および多数のシーン・データの保有に対応できる。

4.4.3 環境制御パネル処理

視界模擬装置では、環境制御パネルを使用して環境条件 (エリア番号、日照、光点輝度、色調、雲高、気象、視程) の設定が行われる。

VSM は環境制御パネルにより設定された、日照、光点輝度、色調、雲高、気象、視程に対応する制御コードを視界プロセッサに転送する。

エリア番号設定に関しては番号が設定されると、その番号に対応したシーン・データを磁気ディスク装置から読みだし、視界プロセッサに転送する。

また、環境条件の設定は環境制御パネルを用いず、ソフトウェアを介して行うことも可能である。そのためには飛行運動計算機から BMC を経由して視界模擬装置専用計算機に環境制御パネル入力禁止フラグと環境設定データの転送を行う。VSM は受け取った環境設定データを用いて、環境制御パネルから設定されたと同様に環境条件の設定を行う。ただし、視程条件、日照条件、雲高については、環境制御パネルを用いた場合には、ハードウェア (ロータリースイッチ) の制限により八段階であるが、ソフトウェア設定の場合には、多段階に変化させることが可能である。

4.4.4 視界プロセッサとのデータ交換

視界プロセッサと視界模擬装置専用計算機とは、ディスクリートバスで結合されており、VSM はシーン・データの転送、視界プロセッサの動作に必要なマイクロ・プログラムの転送、環境制御に関する情報の転送を行っている。

また、VSM は視界プロセッサの動作状況も監

視しており、動作不良が起こった場合にはエラー情報表示をシステム・コンソールに行う。

5. 視界データの転送

一般にCGI方式の視界模擬装置は従来型のTV-地形模型方式に比べて視界表示に必要なデータ転送時間は短い、この転送時間がどの程度であるのかは、システム特性に影響するため、その測定を行った。

シミュレーション試験時、パイロットの視点位置・視野方向は、視界データとして飛行運動計算機で計算が行われる。本飛行シミュレーション試験設備では、飛行運動計算周期とは独立に10m/sの転送周期で飛行運動計算機と視界模擬装置専用計算機との間のデータ転送を行っている。

一方、視界模擬装置専用計算機は、飛行運動計算機とのデータ転送周期とは別に33m/s周期で独立に処理を行っており、かつ、この演算周期の最後の2m/sで視界データに関する処理を行う。この結果を得て画面計算部は、あらかじめ格納してあるシーン・データから33m/sかかって画面デー

タの切り出しを行う。

次に走査線計算部は画面データに対して隠面処理、クリッピング等を行い、33m/sかかって1画面の視界シーンを構成する。しかし、表示方式に1/2 インターレス方式を採用しているため、表示画面の変化に関しては1/2 インターレス分作画した時点で、ある程度の識別は可能である。

したがって、視界模擬装置における伝送時間は、図25に示したように、飛行運動計算機からの視界データ受取りが視界模擬装置専用計算機における視界データ処理の直前で行われれば、最小の52m/sであり、視界データ受取りが処理開始直後であれば、最大の83m/sになると考えられる。

実際に視界模擬装置を使用する場合には、飛行運動計算機がパイロット操舵等の入力信号を受けた後に機体運動等の処理を行い、視界模擬装置に対して視界データ（視点位置・視野方向）を転送するので、通常使用に近い状態で視界模擬装置の実時間特性を把握するために、飛行運動計算機が視界変動情報を与えられてから実際に視界が変動するまでの転送時間測定を行った。方法の概要を

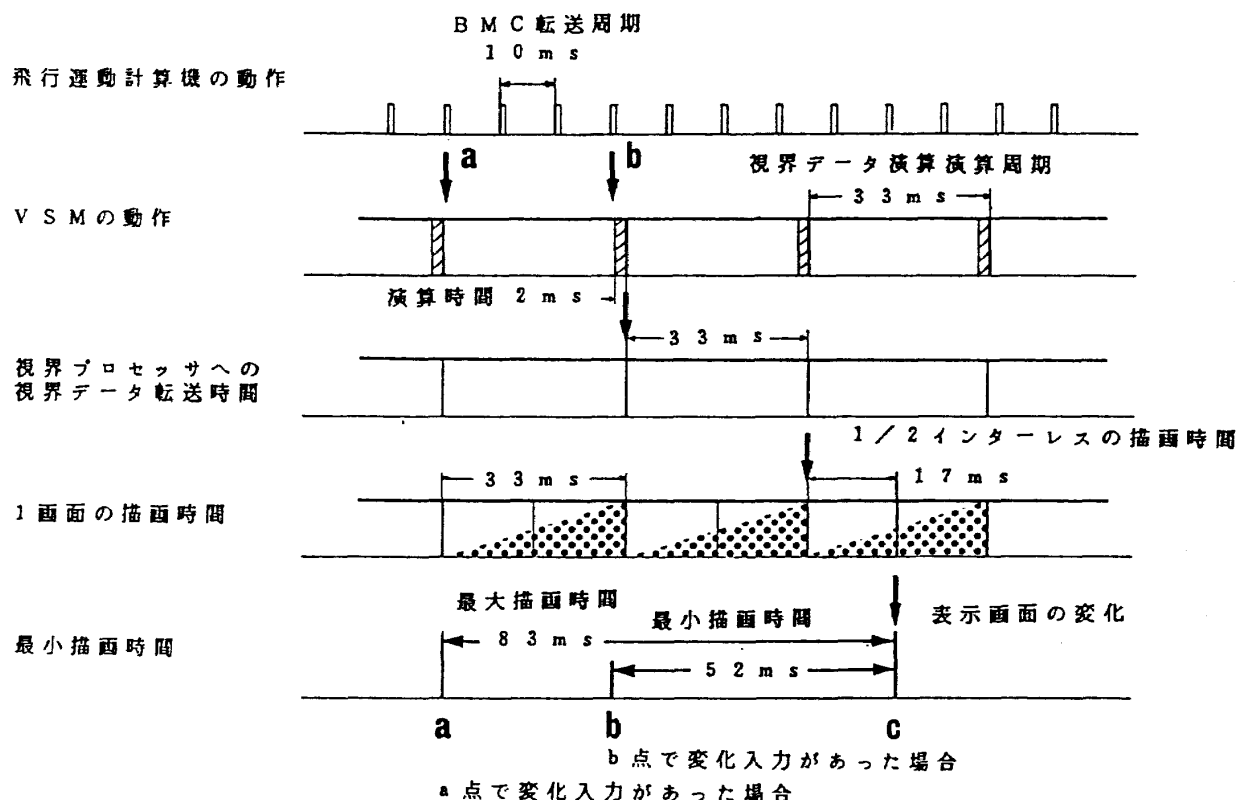


図25 模擬視界装置の描画動作

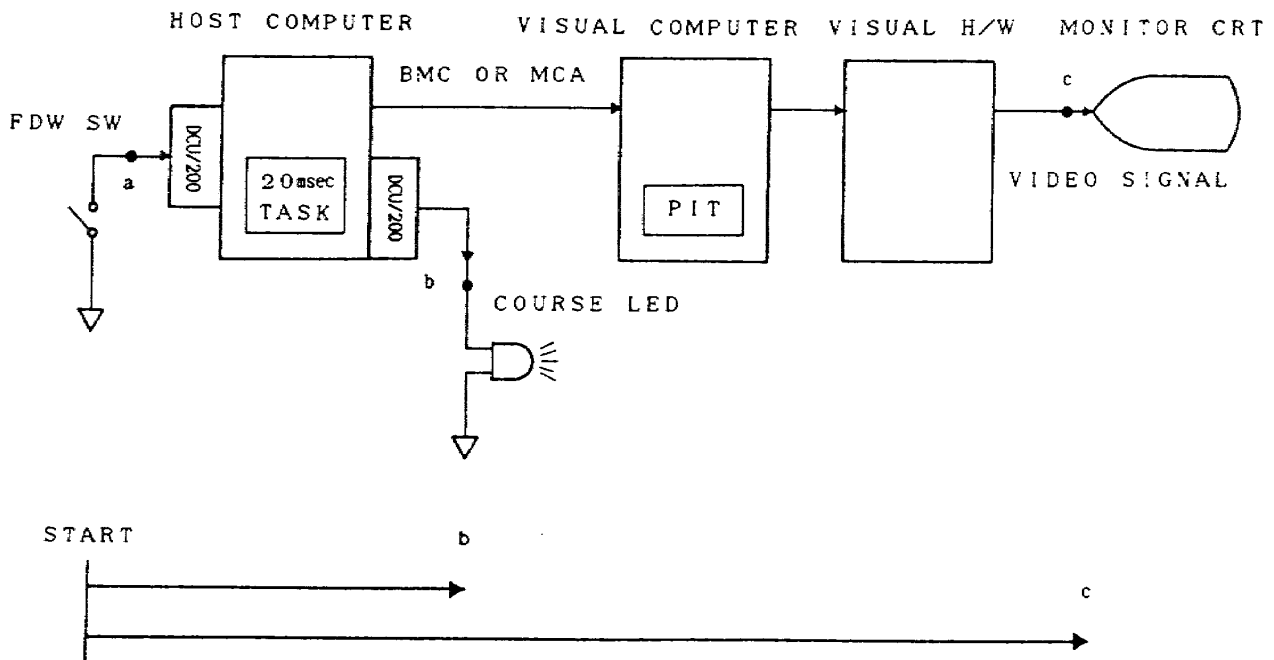


図26 転送時間測定時の回路構成

表9 転送時間の測定結果

測定番号	B M C による データ 転送 周期 (1 0 m s e c)		
	b 点 (m s e c)	c 点 (m s e c)	c - b (m s e c)
1	1 1 . 0	8 2 . 6	7 1 . 6
2	1 9 . 2	7 2 . 0	5 2 . 8
3	2 3 . 8	9 9 . 2	7 5 . 4
4	9 . 0	7 0 . 8	6 1 . 8
5	2 1 . 0	9 2 . 0	7 1 . 0
6	1 4 . 8	9 4 . 0	7 9 . 2
7	7 . 8	8 5 . 8	7 8 . 0
8	1 5 . 2	8 5 . 8	7 0 . 6
9	1 . 8	6 2 . 8	6 1 . 0
1 0	2 3 . 2	8 1 . 2	5 8 . 0
1 1	1 6 . 0	7 9 . 0	6 3 . 0
1 2	1 2 . 8	7 0 . 6	5 7 . 8
1 3	1 5 . 0	8 1 . 6	6 6 . 6
1 4	1 9 . 2	7 4 . 4	5 5 . 2
1 5	1 2 . 0	7 0 . 0	5 8 . 0
1 6	7 . 8	8 1 . 4	7 3 . 6
1 7	1 7 . 2	7 9 . 2	6 2 . 0
1 8	1 9 . 4	8 5 . 4	6 6 . 0
1 9	1 3 . 2	8 5 . 4	7 2 . 2
2 0	9 . 8	8 3 . 6	7 3 . 8
平均	1 4 . 5	8 0 . 8	6 6 . 4

図26に示す。

はじめに測定用タスク・プログラムを実行する。その機能は、移動物体コントローラの FWD スイッチを押すことにより、移動物体コントローラの LED を点灯させると同時に視界模擬装置に対して画面の明るさを変化させる信号の転送を行う。つぎにロジックアナライザの計測用プローブを LED 出力 (b 点) と映像信号出力 (c 点) に、トリガー・プローブを FWD スイッチ (a 点) にそれぞれ接続し、b 点と c 点の出力信号を計測し、b 点と c 点との出力時間差をもとめた。表 9 に測定時間結果を示す。

この結果、データ転送時間は平均で 66.4m/sec であることが判明した。FAA のレギュレーション (文献 4) ・フェーズⅡでは、転送時間は 150m/sec 以内と規定されている。本装置の転送時間は規定値の約半分であり、STOL 実験機あるいは大型ジェット輸送機の実時間シミュレーション用視界模擬装置として十分使用可能である。

6. おわりに

飛行シミュレーション試験設備の第 2 期工事として視界模擬装置を整備した。本装置は既に完成している模擬操縦席装置に装着し、低騒音 STOL 実験機を初めとして各種シミュレーション試験に使用されており、その有効性が高く評価されている。

なお、視界シーンは、これまでに幾種か作成され、いろいろな研究に利用されている。図27から図30にその例を紹介する。図29と図30は宇宙分野の研究に利用されたものである。

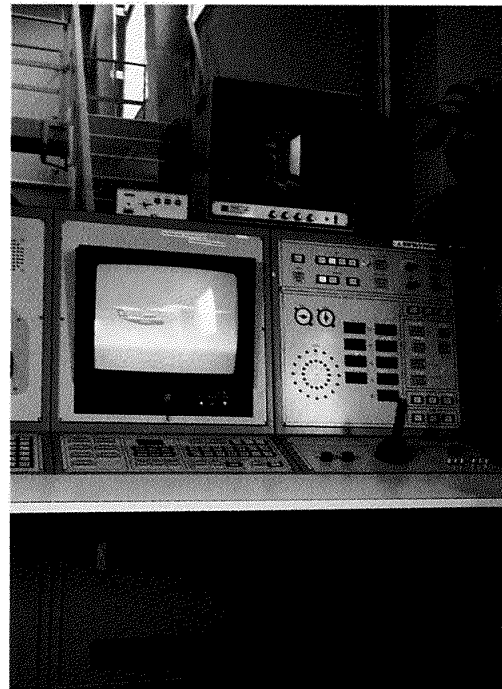
最後に本装置を製作した三菱プレジジョン株式会社の関係の方々に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) STOL 推進本部シミュレータ開発チーム；飛行シミュレーション試験設備視界模擬装置基本設計書，1982
- 2) C. Stailer 他；Characteristics of Flight Simulator Visual System, AGARD-AR-164 (1981)
- 3) 川原；視界模擬に於ける無限遠表示装置の試作，航技研報告 TM-467 (1982)
- 4) FAA；Appendix H, Federal Regulation, 1980.7
- 5) 梶原他；フライト・シミュレータにおけるリアルタイム・イメージ生成, PIXEL, 通巻35号, 通巻36号, 通巻38号 (1985)



機上制御卓側



操作室制御卓側

図15 外部モニタディスプレイ外観



図27 STOL 実験機「飛鳥」

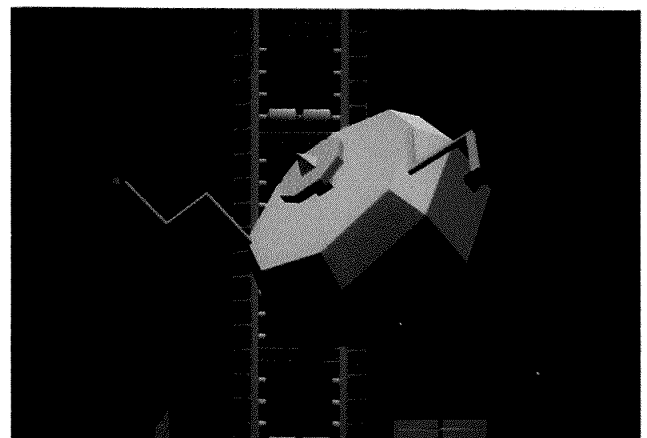


図29 テレオペレータ



図28 羽田空港の滑走路

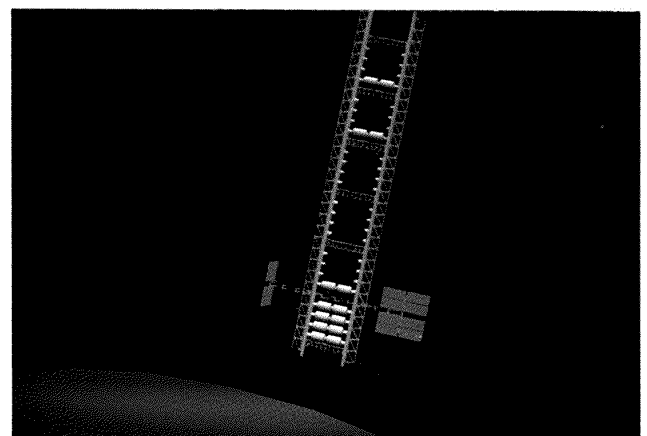


図30 宇宙ステーション

付録 視界模擬装置に関連する機能の説明

1. 画面計算部

以下に画面計算部に関連する機能を述べる。

(1) シーン・データの格納

環境制御パネルにあるエリア・スイッチによりエリア番号を選択することにより、視界模擬装置専用計算機は視界プロセッサに対してエリア番号に対応したシーン・データの転送を行う。これに対応して視界プロセッサは、シーン・データを画面計算部の内部記憶回路に格納し、以後の処理に対応するための実行用シーン・データとする。

(2) 座標変換

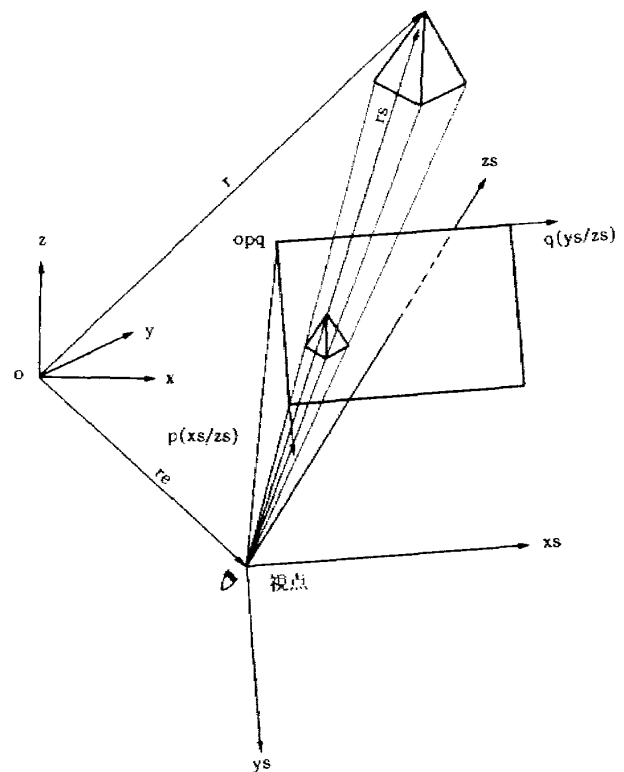
視界モデルを CRT ディスプレイに表示を行う場合、実行用シーン・データ内の視界モデルが持つエッジ（頂角）の座標（データ・ベース座標系）をスクリーン座標（CRT 画面を x, y とし、視点と反対側を z とする座標系）へ変換する必要がある。これに対処するために視界模擬装置では、実行用シーン・データ内の視界モデルに対して付図 1 のような座標変換を行っている。

(3) 透視変換

通常、三次元の視界モデルをディスプレイ装置に表示する場合には真実性を持たせるため視界モデルに対して透視変換を行う必要がある。本視界模擬装置では、表示の際に付図 1 に示すような座標変換を視界モデルに対して行う。

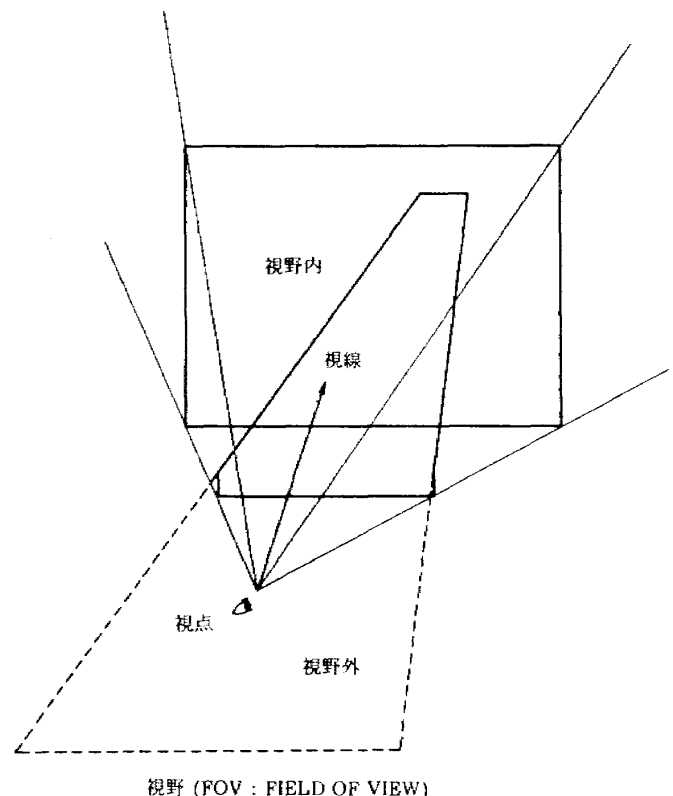
(4) クリッピング

付図 2 に示すように CRT ディスプレイに視野内の視界モデルの表示を行う時点で、視界モデルの一部が視野外に出てしまうような視界モデルが存在した場合、スクリーン座標系への変換処理において視界モデルが持つ視野外のエッジ座標点が不確定となり、対象となる視界モデルの表示が出来なくなる。これに対処するため視界プロセッサでは、視界モデルに対してクリッピングと称する部分的削除処理（付図 2 では点線部分を削除）を行い、便宜的にスクリーン座標系外に視界モデルが存在しないように見なしている。



$$rs = [Ts(T\phi T\theta T\phi)^{-1}] (r - rE)$$

付図 1 座標変換



付図 2 クリッピング

(5) 処理対象の選択

視界模擬装置専用計算機から転送される視点位置情報（座標変換マトリクス）に基づき視界情報を計算し、実行用シーン・データから視界内に存在する視界モデルの選択を行い、映像発生処理の対象とする。

視界モデルの座標はデータ・ベース座標系で表わしており、パイロットの視点は視点座標系で表わしている。この状態においてパイロットの視界内に視界モデルを発生する場合、パイロットの視点座標系により物体の見え方を求める必要が生じる。この視点座標系はデータ・ベース座標系に対する傾きを表わす座標変換マトリクスによって規定することができる。

(6) レベリング

視界模擬装置では、視点位置と視界モデルとの距離が遠い場合には視界モデルの形状を単純化し、視界モデルに近づいた場合には精密な作画処理を行うことにより処理速度の向上ならびに処理装置の負担軽減を図ることが望ましい。このため各視界モデルは、視点からの距離により表示状態を変

化させるために表示レベルの分類を行っており、それに必要な情報が視界モデル作成時に登録されている。

(7) 優先順位の決定

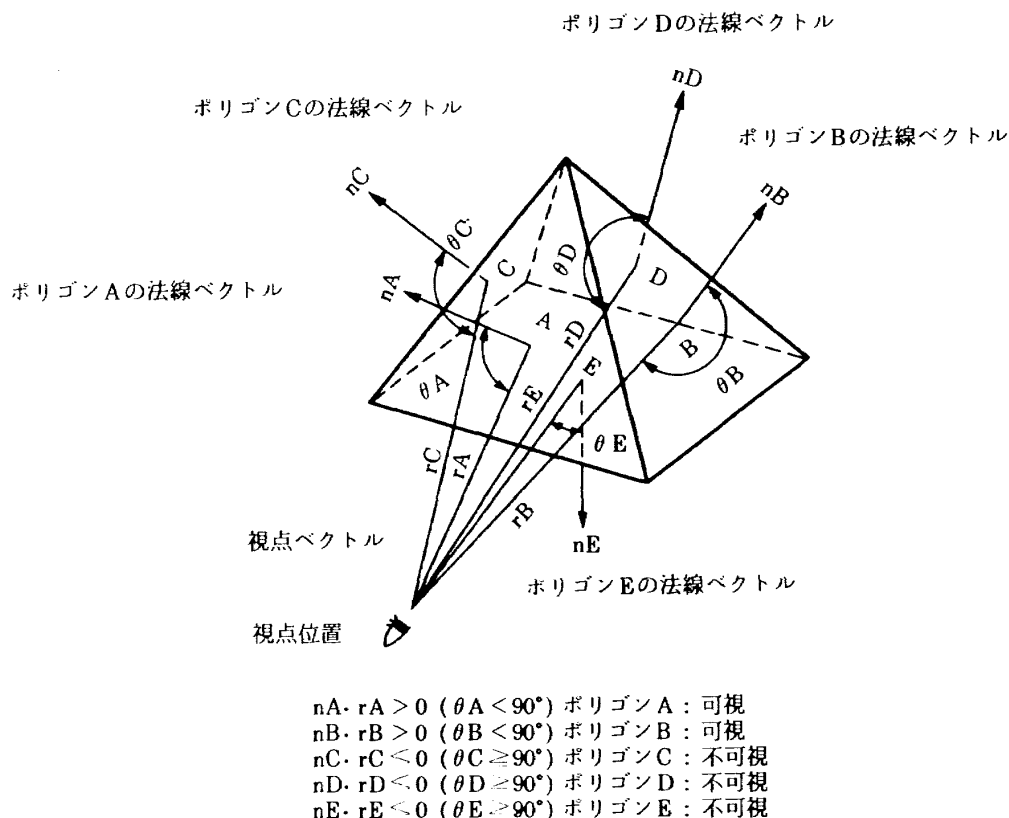
視界模擬装置専用計算機から転送される視点位置情報に基づき視点位置から視界内の視界モデルまでの距離計算を行い、レベリング情報をもとに視界モデルに対して、隠し合いにおける優先順位を決定する。この優先順位をもとに視界プロセッサ隠面処理を行う。

(8) 視界モデルの共有化

視界プロセッサでは、画面計算部の実行用シーン・データ格納エリアの使用効率を図るためにシーン・データ内の特定視界モデルに関するデータの共有化を行うことができる。データを共有使用している視界モデルが視野内に入り発生処理の対象となった場合には、共有データに対して視界プロセッサは平行移動処理を行い、視野内の視界モデルとして発生させる。

(9) 可視面の選択

本視界模擬装置では、見ることが可能な面のこ



付図3 可視面の選択

とを可視面と称する。

視界モデルを構成する面の可視・不可視は、付図3に示す面の法線ベクトルと現在の視線ベクトルとの積を計算し、結果が正の数値（2つのベクトルのなす角が 90° 未満の値）である場合に可視面と判断する。

2. 走査線計算部

以下に走査線計算部の機能を示す。

(1) エッジ・リストの格納

画面計算部から転送されてくる視界画像のフレーム（一回の走査により描かれる画面のこと）ごとのエッジ・データから走査線ごとのエッジ・データを抽出し、エッジ・リスト・メモリに一時格納を行う。また、格納と同時に後段に対して前フレームで格納したデータの転送を行う。

(2) 並べ換え

本視界模擬装置では、少しでもちらつきを少なくするために一般のテレビジョン放送と同様な飛越走査を行っている。そのためにソート回路を用いて、1フレームのエッジ・データを飛越走査の順に分け、走査線走査の順に並べ換える。

(3) 更新

スキャンライン・アップデート回路を用いて、走査線が順次進むことにより発生するエッジの飛越走査、輝度、フェードの更新を行う。

(4) 隠面処理

オカルティング回路は、視界モデル同士が重なった場合にエッジリスト・メモリの中から優先順位の最も高い視界モデルのエッジを選択し、その情報を映像信号発生部に転送する。

3. 光点発生部

以下に光点発生部の機能を示す。

(1) 可視光点の選択

指向性を有する光点に対して画面計算部の場合と同様な可視光点の選択処理を行う。

(2) 座標変換

画面計算部の場合と同様に光点の座標に対してデータ・ベース座標系からスクリーン座標系への

変換を行う。

(3) クリッピング

画面計算部の場合と同様にクリッピングを光点に対して行う。

(4) 透視変換

画面計算部の場合と同様に透視変換を光点に対して行う。

(5) 光点リスト・メモリ

1画面分の光点情報格納用メモリでエッジに対するエッジ・リスト・メモリと同様な機能を持つ。

(6) 光点スキャン・コンバータ

走査に同期して光点リスト・メモリから情報を読み出し、ビデオ信号発生装置の混合器に転送を行う。

4. 映像信号発生部

以下に映像信号発生部の機能を示す。

(1) ビデオ・メモリ

ビデオ・メモリ回路は、2フレーム分の記憶容量を持ち、走査線計算部から転送されてくる1フレーム分の走査線情報の格納を行いながら、同時に格納を終えている一方のビデオ・メモリの内容を後段に転送する。

(2) 同期処理

コンデンス回路は、走査に伴う同期信号に同期して走査線情報をビデオ・メモリから読み出し、後段に転送を行う。

(3) 映像計算

ビデオカリキュレータ回路は、走査線ごとに色番号に対応する光の三原色成分（赤、緑、青）を読み出し、輝度およびフェードに関する処理を行う。

(4) 混合

ミキサー回路は、映像信号発生部で発生したビデオ信号に光点発生部から転送されて来る光点情報を加算する。

ここでは、面と光点の優先関係を調べ、光点の優先度が高い場合には各三原色成分の加算を行い、面の優先度が高い場合には面に関する三原色成分のみを出力する。

(5) デジタル / アナログ変換

映像信号発生部内のデータは、すべてデジタル信号のため、ビデオ信号の三原色成分信号についても、それぞれ D/A コンバータ回路を用いて、デジタル / アナログ変換を行い、コンポジット・ビデオ信号として視界表示装置に出力を行う。

航空宇宙技術研究所資料 581号

昭和 63 年 2 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
