火山専用空中赤外映像装置の開発研究（第2報）

著者	植原 茂次，熊谷 貞治，高橋 博，高橋 末雄，幾志 新吉，矢崎 忍，田中 厚，北村 慎一
雑誌名	国立防災科学技術センター研究速報
号	63
ページ	1-40
発行年	1984-10-15
URL	http://id.nii.ac.jp/1625/00002798/

国立防災科学技術センター研究速報　第63号　1984年10月

528.74:551.21

火山専用空中赤外映像装置の開発研究（第２報）

植原茂次*・熊谷貞治*・高橋　博**・高橋末雄***・
幾志新吉****・矢崎　忍****・田中　厚+・北村慎一+
国立防災科学技術センター

Developmental Study on New Airborne Multi-spectral Scanner System Specifically Oriented to Thermal Observation of Volcano (Second Report)

By

S. Uehara, T. Kumagai, H. Takahashi, M. Takahashi, S. Kishi and S. Yazaki

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

A. Tanaka and S. Kitamura

FUJITSU LIMITED, Japan

Abstract

This report describes a developmental study on a new infrared detector which enables the MSS planned to detect area of high temperature on the surface of volcano body as mentioned in the previous report (NRCDP, Research Note, No.62, Developmental Study on New Airborne Multi-spectral Scanner system Specifically Oriented to Thermal Observation of Volcano, First Report, Oct. 1984).

The study includes design, trial manufacturing, durability experiments and evaluation of performances of the new infrared detectors made of an alloy (HgCdTe).

As the result, specified performances and durabilities for various stresses as well as establishment of manufacturing procedures were satisfactorily secured.

The main features of this study are as follows:

1. In order to detect high temperature effectively, the optimum spectral characteristics of sensitivity of the infrared detector over a range of 3－5 micron wavelength was designed by the analysis of combination ratio of constituent materials of the detector element. Namely, the mol ratio of CdTe in the alloy was decided to be in the range of 0.262－0.284 corresponding to the allowable of the peak response wavelength 4.5－5.5 micron.

*第３研究部，**所長，***第２研究部，****第４研究部，
+富士通株式会社特機システム事業部技術部第三機器課

2. The results of first performance tests for four manufactured detectors satisfied fully the given specifications.
3. The durability experiment for the detectors includes three items such as damp heat cycle experiment, vibration experiment and long-term stability experiment. After the experiments, various parameters of detector performance were measured to evaluate durabilities. The parameter includes detectivity, responsivity, relative spectral sensitivity, maximum detectivity, spectral responsivity and so on. As the result, in the case of damp heat cycle experiment, some deterioration of detector performance appeared. However, it was evaluated that the deterioration was not so significant and would not appear in the ordinary operational case. In the other experiments, the significant deterioration did not appear.
4. The durability experiment for detector dewers includes impact experiment and atmospheric pressure experiment, and no significant problems did not appear.

From the results mentioned above, it was concluded that the new infrared detector was successfully developed its performance and manufacturing procedure.

目　次

まえがき …… 3
第Ⅳ編　火山専用空中赤外映像装置の高温用赤外検知器の設計・製作・試験
1. 高温用赤外検知器の設計 …… 3
1.1 設計の仕様 …… 3
1.2 検知素子設計 …… 4
1.2.1 検知波長帯域 …… 4
1.2.2 最大波長感度（$D^*_{\lambda\phi}$） …… 6
1.2.3 レスポンシビティ（$R_{\lambda\phi}$） …… 6
1.3 検知器構造設計 …… 7
1.4 ウインド設計 …… 8
2. 高温用赤外検知器の試作 …… 10
2.1 製作工程 …… 10
2.2 試作検知器 …… 12
3. 高温用赤外検知器の試験 …… 12
3.1 試験の目的 …… 12
3.2 試験の仕様 …… 13
3.3 試験の方法 …… 15
3.3.1 試験実施方法 …… 15
(1) 基本性能試験 …… 15
(2) 温湿度サイクル試験 …… 15
(3) 振動試験 …… 15
(4) 長期安定性試験 …… 17
(5) 衝撃試験 …… 17
(6) 気圧試験 …… 18
3.3.2 評価項目測定法 …… 19
(1) 比検出能（D^*） …… 19
(2) レスポンシビティ（R） …… 19
(3) 相対分光感度（β_λ） …… 20
(4) 最大波長感度（$D^*_{\lambda\phi}$） …… 21
(5) 分光レスポンシビティ（$R_{\lambda\phi}$） … 21
(6) 暗抵抗（γ）の測定 …… 21
(7) 液体窒素保持時間 …… 22
(8) 振動雑音 …… 22
(9) 入射赤外パワーP_Lおよび比例定数γの説明 …… 22
3.4 試験結果 …… 25
3.4.1 基本性能試験 …… 25
3.4.2 温湿度サイクル試験 …… 25
3.4.3 振動試験 …… 31
3.4.4 長期安定性試験 …… 31
3.4.5 衝撃試験 …… 31
3.4.6 気圧試験 …… 34
4. 評　価 …… 34
4.1 基本性能試験 …… 34
4.2 温湿度サイクル試験 …… 38
4.3 振動試験 …… 39
4.4 長期安定性試験 …… 39
4.5 衝撃試験 …… 40
4.6 気圧試験 …… 40
5. まとめ …… 40

まえがき

本報告は，国立防災科学技術センター研究速報第62号火山専用空中赤外映像装置の開発研究（第１報）に次ぐ，第２報として，上記装置の中心的課題である高温測定用赤外検知器の設計，製造技術の確立，性能の確認等のための設計，試作，試験について取りまとめたものである．

既存の航空機ＭＳＳは，常温域の観測を目的として，観測波長域８～13 μm 帯域の赤外検知器を具備しているが，100℃をこえる火山噴気や，1000℃以上にもなる溶融したマグマのような高温の観測に適した検知器は具備されていない．

高温部を精度良く測定するためには，黒体放射の分布および大気の吸収帯からみて，観測波長帯域３～５ μm の高温用検知器の開発が必要である．この帯域の検知器としては，InSbの二元合金の検知器があるが，感度の波長特性が固定的である．これに対して，HgCdTeの三元合金の検知器は，HgとCd の配合割合を適切に設計することにより，最大感度を所定の波長域に合致させることができ，波長特性の選択性がある．

第１報の詳細設計では，上記の点を考慮して，HgCdTe検知器を用いることとして，その期待性能を仮定して設計しており，この性能確保の可能性を検証し，同時に，実機用の高温測定用検知器の設計，製造技術を確立するための研究を実施したものである．

本研究の実施は，第１報のまえがきにも記したように，下記メンバーで構成する火山専用空中赤外映像装置に関する研究委員会の審査・検討の下に，富士通株式会社の協力を得て行われた．

委員長、専門委員　加茂幸介　　京都大学防災研究所教授，桜島観測所所長
専門委員　源田秀三郎　千葉大学名誉教授
専門委員　堤　捨男　　京都工芸繊維大学工芸学部教授
専門委員　三輪卓司　　千葉大学工学部教授
職　員　　所長（前第２研究部長）高橋　博
第３研究部　植原茂次，熊谷貞治
第２研究部　高橋未雄
第４研究部　幾志新吉，矢崎　忍

第Ⅳ編　火山専用空中赤外映像装置の高温用赤外検知器の設計・製作・試験

1. 高温用赤外検知器の設計

1.1　設計の仕様

航空機搭載ＭＳＳの詳細設計で用いた高温用としての３～５ μm 帯検知器の期待性能を表

表 1.1　高温用赤外検知器仕様・

Table 1.1　Specification of infrared detector for high temperature measurement

	項　　目	仕　　様
1	検知波長帯	3～5 μm
2	冷却温度	77K（液体窒素冷却）
3	素子サイズ	150μm×150μm
4	素材	Hg.Cd.Te
5	最大波長感度（$D^*_{\lambda p}$）	2×10^{10} cm・$Hz^{\frac{1}{2}}W^{-1}$ 以上
6	分光レスポンシビティ（$R_{\lambda p}$）	3×10^{3} VW^{-1} 以上
7	視野（FOV）	50°
8	時定数	2μS 以下
9	構造	縦型デュア構造
10	液体窒素保持時間	2時間以上

1.1に仕様として示し，これを目標に設計を行う．

赤外線検知器の設計は，検知素子，検知器構造，ウインドの各部毎に行う．以下順次設計内容を述べる．

1.2　検知素子設計

HgCdTe形赤外検知器の検知素子設計では，まず検知波長域の設計を行い，その上で最大波長感度およびレスポンシビティの性能見積りを行い，要求性能に適合するか否かを確認する．

1.2.1　検知波長帯域

(1)　HgCdTe 結晶と波長特性

HgCdTe 結晶は，HgTe 結晶および CdTe 結晶を $Hg_{1-x}Cd_xTe$ のごとく混合したもので，検知カットオフ波長 λ_c（μm）は，式（1.1）および式（1.2）に示すように，$Hg_{1-x}Cd_xTe$ 結晶の組成（CdTe のモル比：x 値）と温度から決まる結晶のエネルギーギャップ Eg(ev) により支配される．

$$\lambda_c(\mu m) \simeq 1.24 / Eg(ev) \qquad (1.1)$$

$$Eg(ev) \simeq 1.59x - 0.25 + 5.233\times10^{-4}T(1-2.08x) + 0.327x^3 \qquad (1.2)$$

ここに，λ_c はカットオフ波長（μm）であり，ピーク応答波長 λ_p（μm）とは実験的に次

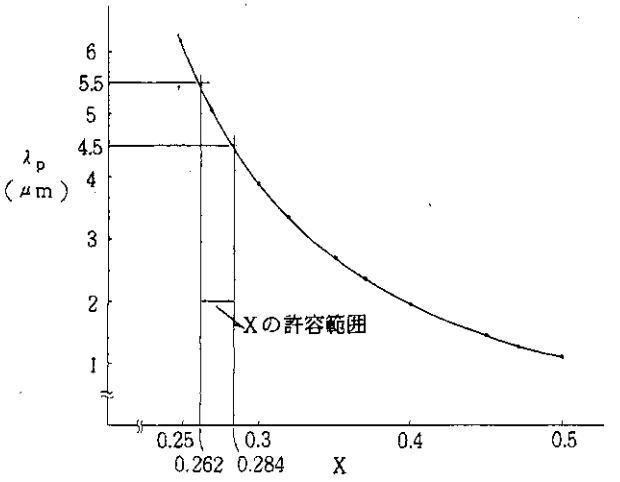


図 1.1 CdTe のモル比 x とピーク応答波長 λ_p

Fig. 1.1 Relation between mol ratio (X) of CdTe and wavelength (p) corresponding to peak response of HgCdTe infrared detector

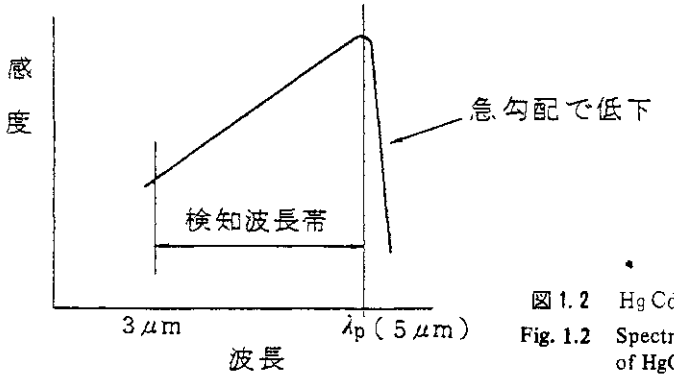


図 1.2 HgCdTe 検知器の分光感度特性

Fig. 1.2 Spectral characteristics of sensitivity of HgCdTe infrared detector

の関係にあることが判っている.

$$\lambda_p \simeq \lambda_c - 1 \qquad (1.3)$$

また T は素子冷却温度であり，本検知器では 77 K となる．式（1.1）～（1.3）より，λ_p と x の関係は式（1.4）で示される.

$$\lambda_p\,(\mu\mathrm{m}) = \frac{1}{0.264x^3 + 1.22x - 0.17} - 1 \qquad (1.4)$$

式（1.4）の λ_p と x との関係を図 1.1 に示す.

(2) 検知波長帯と最大感度波長

HgCdTe 形赤外検知器の分光感度は，図 1.2 に示すように最大感度波長 λ_p より短波長側では緩慢に，長波長側では急激に低下する性質がある．従って HgCdTe 検知器では最大感

度波長 λ_p を検知波長帯の上限に設定する.

高温用検知器では，検知波長帯が3～5 μm 帯であるため，最大感度波長 λ_p の設計基準を5 μm とした上，製造上のバラツキを考慮し，λ_p に

$$4.5\ \mu\mathrm{m} \leqq \lambda_p \leqq 5.5\ \mu\mathrm{m} \qquad (1.5)$$

の許容範囲を与え，これによりCd Teのモル比 x を設計することにした.

(3)　Cd Teのモル比の設計

（1.5）に示した λ_p の範囲に対応するCd Teのモル比 x は図1.1から式（1.6）に示す範囲となる.

$$0.262 \leqq x \leqq 0.284 \qquad (1.6)$$

1.2.2　最大波長感度（$D^*_{\lambda p}$）

最大波長感度 $D^*_{\lambda p}$ は近似的に式（1.7）で与えられる.

$$D^*_{\lambda p} \simeq \frac{\eta}{2} \cdot \frac{\lambda_p}{h \cdot C_0} \left(\frac{n+p}{n \cdot p}\right)^{1/2} \left(\frac{\tau}{t}\right)^{1/2} \qquad (1.7)$$

ここに，η ：量子効率　　n：自由電子濃度

h ：プランク定数　　p：正孔濃度

C_0：真空中の光速　　t：素子厚

またτは次式で与えられる.

$$\tau \simeq \frac{2 n_i^2 \tau_{Ai}}{n^2} \qquad (1.8)$$

ここに，n_i：真性キャリア濃度

τ_{Ai}：真性オージュ再結合機構によって制限された過剰キャリアの寿命である.

以上の計算式による見積の結果，$D^*_{\lambda p}$ は 2.5×10^{10} 以上の値が期待できることが判り，設計仕様 2×10^{10} を満足する見通しを得ることができた.

1.2.3　レスポンシビティ（$R_{\lambda p}$）

レスポンシビティ $R_{\lambda p}$ は，近似的に式（1.9）で与えられる.

$$R_{\lambda p} \simeq \eta \frac{\lambda_p}{h \cdot C_0} \cdot \frac{1}{A_d \cdot t} \cdot \frac{\tau}{n} V_0 = \eta \frac{\lambda}{h \cdot C_0} \cdot \frac{1}{A_d \cdot t} \cdot \frac{\tau}{n} (r_d \cdot J_0)^{1/2} \qquad (1.9)$$

ここに，η ：量子効率　　n ：自由電子濃度

h ：プランク定数　　V_0：バイアス電圧

C_0：真空中の光速　　r_d：素子抵抗

A_d：素子面積　　J_0：素子で発生するジュール熱

t ：素子厚　　τ ：式（1.8）で与えられる

以上の計算式による見積の結果，レスポンシビティ $R_{\lambda p}$ は 1×10^{4} V·W^{-1} 以上の値が期待できることが判り，設計仕様である 3×10^{3} V·W^{-1} を十分に満たす見通しを得ることができた．

1.3 検知器構造設計

検知器の構造は，標準仕様縦形デュアを用いる．この仕様は，最近，特殊な状況下で，検知器内部に生じた結露のため，真空度の劣化がまれに発生することが明らかとなったので，結露の問題を解決した新しい構造に設計変更を行ったもので，今回の試作検知器は，この改良構造を採用することとした．なお外観・寸法は従来のものと同一であるので，ＭＳＳの装置側の設計は第1報に述べた詳細設計を変更する必要はない．今回試作する検知器の構造を図1.3に示す．

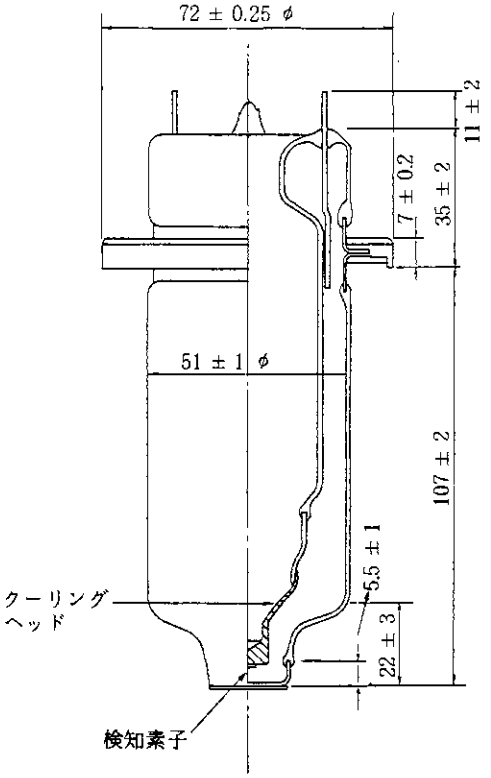


図 1.3 赤外検知器構造図

Fig. 1.3 Structure of infrared detector

結露による真空度劣化と検知器構造の改良について，以下に説明する．

異常に高い湿度で運用し，湿気を検知器デュア内に吸い込んだ場合，湿気は露となり，液体窒素がなくなるとデュア底部（図1.4クーリングヘッド部）に氷結する．これが度重なると氷の体積が増して，その結果クーリングヘッドとガラスの接合部まで達する．この状態で液体窒素を入れた時，接合部のクーリングヘッド側は氷温度，ガラス側は窒素温度（77K）になるため，膨張率が異なり，接合部に異常なストレスが加わって亀裂が発生し，これにより真空度が劣化する場合があった．なおクーリングヘッドの材質はコバール，ガラスはコバールガラスを用いて熱膨張係数をほぼ等しくしているため，通常使用のごとく一様に窒素温度となっている場合上述の現象は発生しない．

以上の対策として，クーリングヘッド部の構造を見直し，図1.3に示すように内部容量を従来の0.4 ccから3 ccに変更し構造を改善したものである．

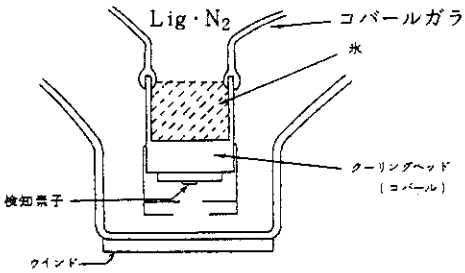


図1.4　従来検知器のクーリングヘッド部

Fig. 1.4　Structure of cooling head of existing infrared detector

1.4　ウインド設計

赤外検知器のウインド材は，材質により固有の分光透過特性を有するため，赤外入射パワーの損失があり，検知素子に効率よく赤外入射パワーを与えるという観点からは不要のものであるが，デュア内部を真空に保つため不可欠のものである．

従って，ここでは高温用赤外検知器の波長帯3～5 μmを効率よく透過するウインド材について検討する．

液体窒素冷却形赤外検知器のウインド材は，従来のものは検知波長帯が8～14 μmであるため，図1.5に示すように，この波長帯に最適な分光透過特性を有するゲルマニウムを用いている．このゲルマニウムウインドでは，3～5 μm帯域の分光透過率は4 μm付近にピークをもつ分布をしているが，3～5 μm帯検知器の最大感度波長である5 μm付近，および3 μm付近で透過率が下降しており，損失が大きい．

そこで，3～5 μm帯で比較的損失の少ないウインド材を検討した結果，図1.6に示すごとく，3～5 μm帯ではフラットで高い透過特性を有するサファイアを用いることとした．

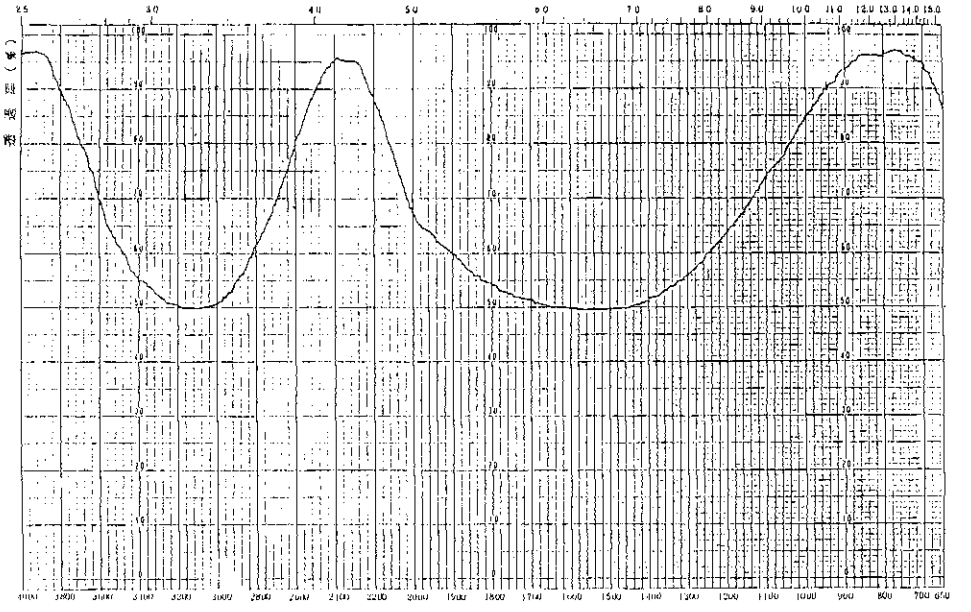


図 1.5　ゲルマニウムの分光透過特性

Fig. 1.5　Spectral characteristics of transmissivity of germanium

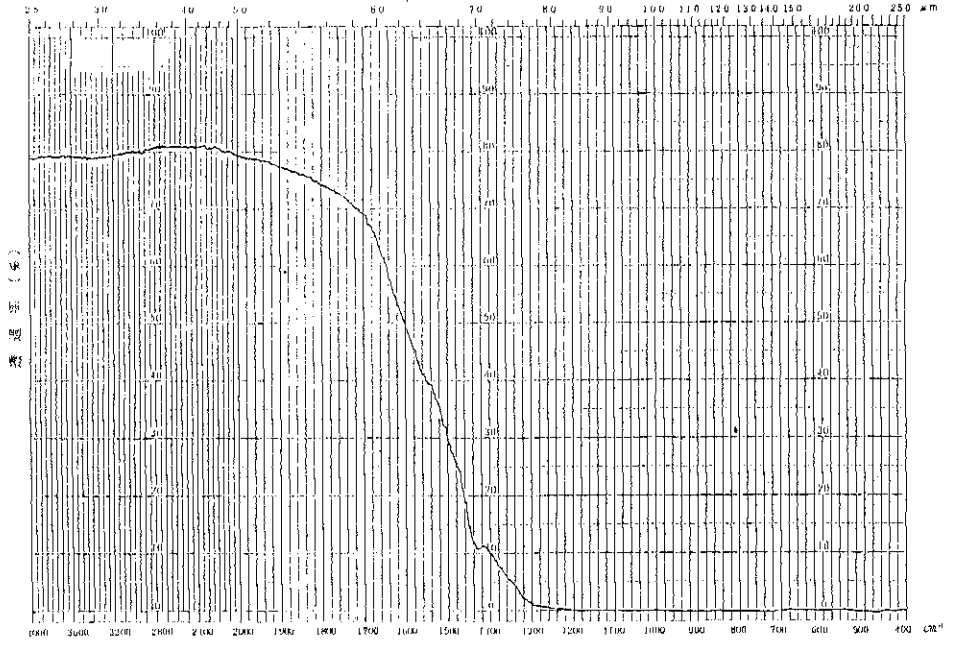


図 1.6　サファイアの分光透過特性

Fig. 1.6　Spectral characteristics of transmissivity of saphire

2. 高温用赤外検知器の試作

2.1 製作工程

赤外検知器の製作工程は，図2.1に示すように結晶製作工程，検知素子形成工程および検知器製作工程の3段階がある．図2.2に結晶製作工程，図2.3に検知素子形成工程，図2.4に検知器製作工程の詳細をそれぞれ示す．

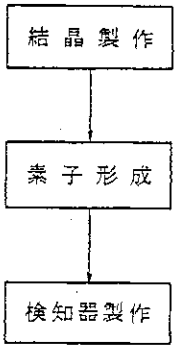


図2.1　赤外検知器製作段階

Fig. 2.1　Phases for trial manufacturing of infrared detector

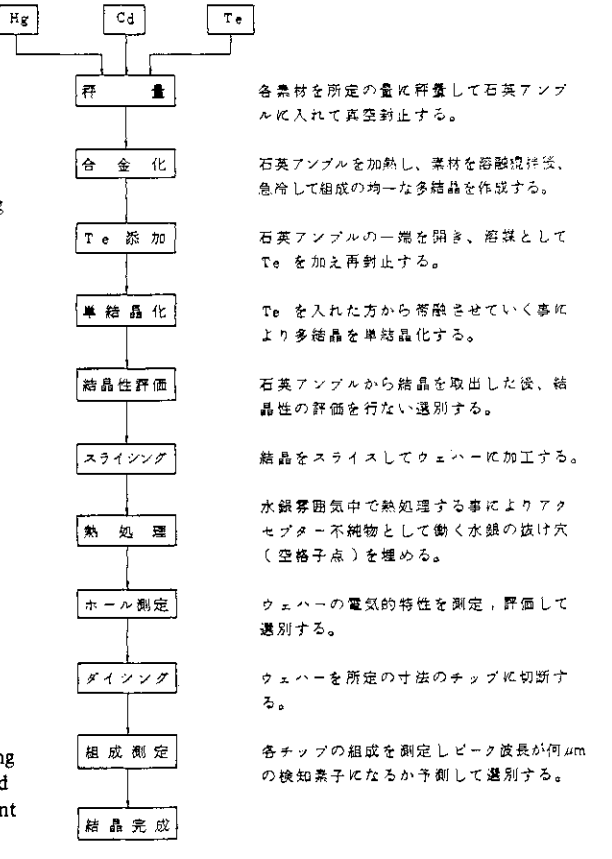


図2.2　結晶製作工程

Fig. 2.2　Flow sheet of manufacturing process of crystal to be used for infrared detector element

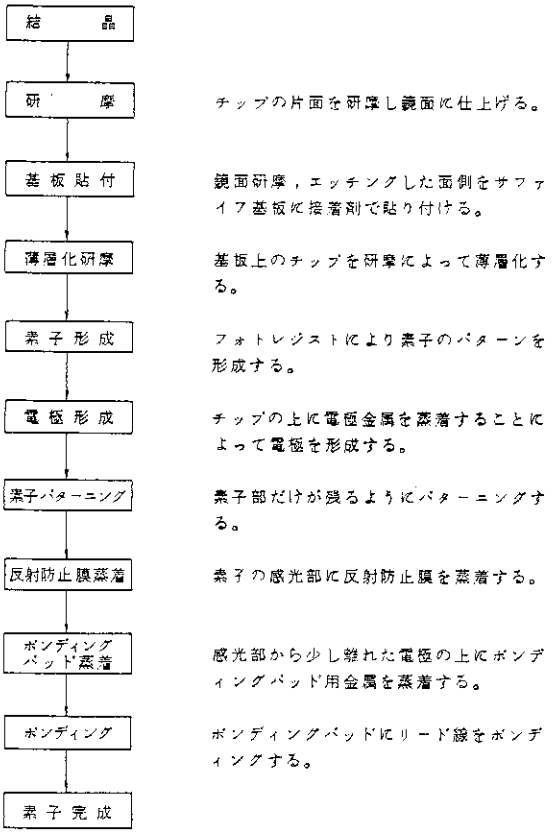


図 2.3　素子製作工程

Fig. 2.3　Flow sheet of manufacturing process of infrared detector element

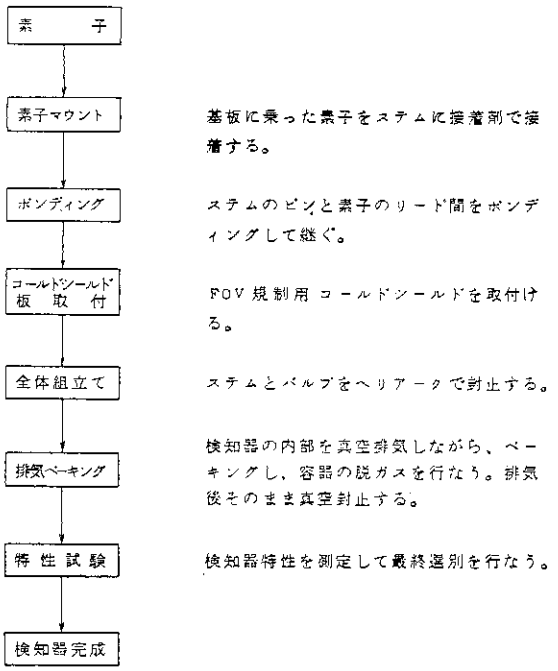


図 2.4　検知器製作工程

Fig. 2.4　Flow sheet of manufacturing process infrared detector

2.2　試作検知器

評価試験のため試作した4本の検知器の外観を図2.5および図2.6に示す．なお，同時にダミー検知素子を取付けた同構造のデュアを4本試作した．

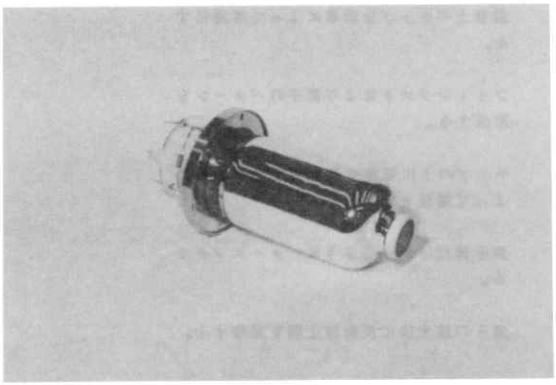


図 2.5　試作赤外検知器外観
Fig. 2.5　Outlook of infrared detector made on experimental basis

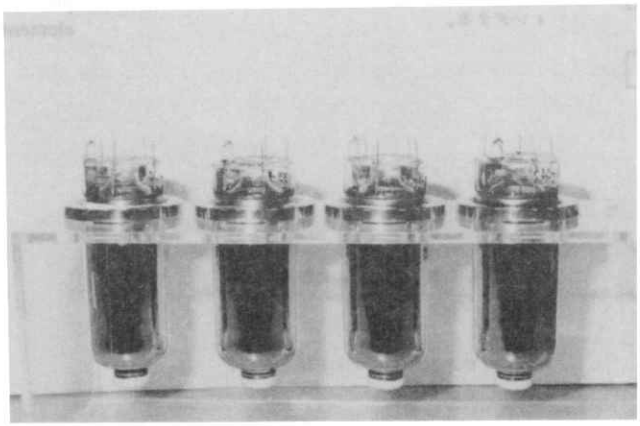


図 2.6　試作全赤外検知器外観
Fig. 2.6　Outlook of whole infrared detectors made on an experimental basis

3.　高温用赤外検知器の試験

3.1　試験の目的

本試験は，火山専用空中赤外映像装置のＭＳＳ部を実際に航空機に搭載した場合に，赤外検知器に対して予想される各種ストレスをシミュレートして，高温用赤外検知器の電気性能

および機械性能を確認し，実機用検知器としての設計・製造技術を確立することを目的としている．

3.2　試験の仕様

本試験では，高温用赤外検知器４本，およびこれと同構造を有する検知器デュア（ダミー素子付）を試作し，これらを試験内容に応じ使用し試験を行う．表3.1に赤外検知器の試験の仕様を，表3.2にデュアの試験の仕様を示す．また，これらの試験フローチャートを図3.1および図3.2に示す．

表 3.1　赤外検知器試験仕様
Table 3.1　Specification of experiment for infrared detector

	試験項目	概　　要	評　価　項　目	供試サンプル数
1	基本性能試験	赤外検知器製作後、試験前に基本要求性能を満足するかどうか確認する。	1) 比検出能（D^*） 2) レスポンシビティ（R） 3) 相対分光感度 4) 最大波長感度　（$D^*\lambda p$） 5) 分光レスポンシビティ（$R\lambda p$） 6) 暗抵抗（r） 7) 液体窒素保持時間	４本
2	温・湿度サイクル試験	各種温度・湿度条件下における赤外検知器の性能劣化に対する耐性を試験する。	1) 比検出能（D^*） 2) レスポンシビティ（R） 3) 相対分光感度 4) 最大波長感度　（$D^*\lambda p$） 5) 分光レスポンシビティ（$R\lambda p$） 6) 暗抵抗（r） 7) 液体窒素保持時間	２本
3	振動試験	赤外検知器が輸送中、使用中に受ける振動による電気的，機械的特性に及ぼす影響および耐久性能を試験する。	1) 比検出能（D^*） 2) レスポンシビティ（R） 3) 相対分光感度 4) 最大波長感度　（$D^*\lambda p$） 5) 分光レスポンシビティ（$R\lambda p$） 6) 暗抵抗（r） 7) 液体窒素保持時間 8) 振動ノイズ	２本
4	長期安定性試験	赤外検知器を長期間（1000H以上）室温に放置した場合の性能の変化を試験する。	1) 比検出能（D^*） 2) レスポンシビティ（R） 3) 最大波長感度　（$D^*\lambda p$） 4) 分光レスポンシビティ（$R\lambda p$） 5) 暗抵抗（r） 6) 液体窒素保持時間	２本

表 3.2　デュアの試験仕様
Table 3.2　Specification of experiment for detector dewer

	試験項目	摘　　要	評　価　項　目	供試サンプル数
1	衝撃試験	リークおよび破壊強度測定	1) 外　観 2) 暗抵抗（r） 3) 液体窒素保持時間	2本
2	気圧試験	リークおよび破壊強度測定	1) 外　観 2) 暗抵抗（r） 3) 液体窒素保持時間	2本

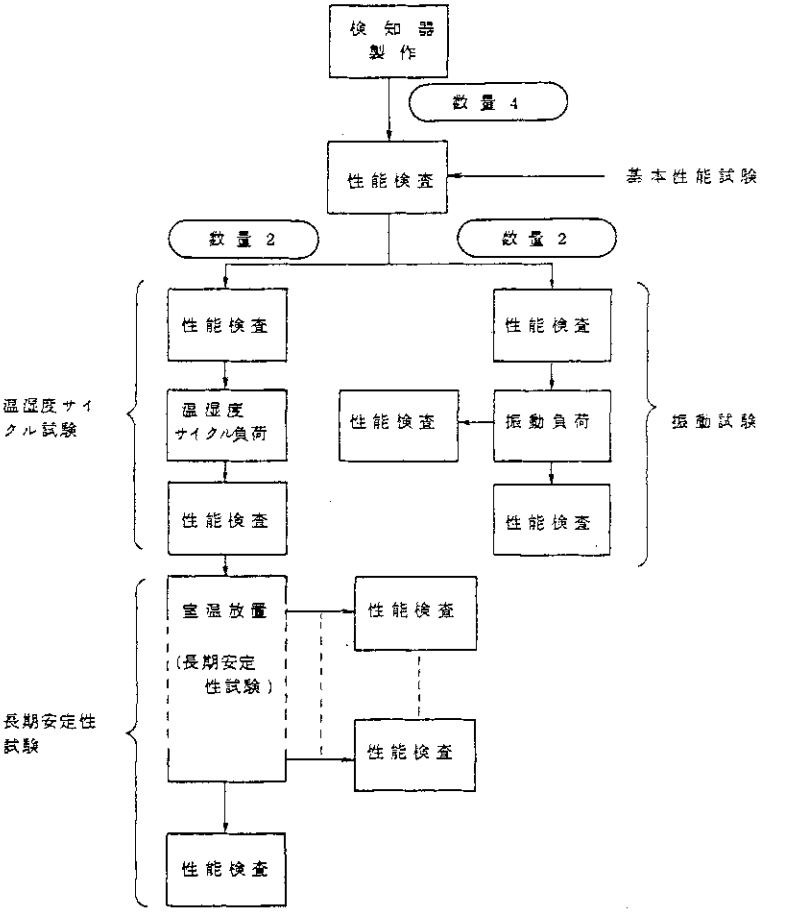


図 3.1　赤外検知器試験フロー
Fig. 3.1　Flow sheet of experiments for infrared detectors

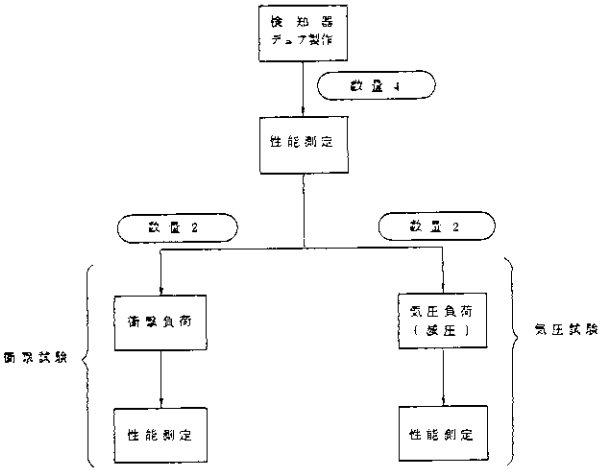


図 3.2　デュア試験フロー

Fig. 3.2　Flow sheet of experiments for detector dewers

3.3　試験の方法

3.3.1　試験実施方法

(1)　基本性能試験

i）　供試サンプル：赤外検知器4本（全数）

ii）　試験方法：表3.1，1に示す評価項目について，室温で測定する．

(2)　温湿度サイクル試験

i）　関連規格：JIS C 7021 試験方法A5

ii）　供試サンプル：赤外検知器2本（基本性能測定後のもの）

iii）　試験装置：下記温湿度が安定に得られる恒温槽を用いる．

(a)　温度　　−10℃± 2℃〜 +60℃± 2℃

(b)　最高湿度　　90％〜 98％

iv）　試験方法：供試品2本を取付治具に装着して槽内の中央部に設置し，図3.3に示す温湿度サイクルを6サイクル実施し，表3.1，2に示した評価項目の測定を行う．

v）　検査タイミング：次のとおり温湿度サイクルの前後実施する．

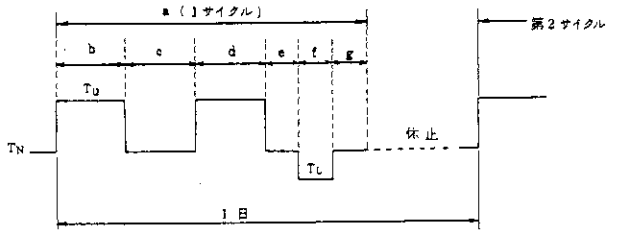
(a)　初期測定……温室度サイクル実施前，常温で実施

(b)　最終測定……6サイクル目のdが終了後24時間常温に放置してから実施する．

vi）　測定条件：検知器にバイアス電流を要する測定項目においては，基本性能測定で比検出能D^*が最大となったバイアス電流を印加する．

(3)　振動試験

i）　関連規格：JIS C 0911 ⅢC　1種



	段階	時間
時間	a	8 h
	b	2 h
	c	2 h
	d	2 h
	e	1～4 h
	f	1 h
温度	T_N	25±2℃
	T_U	60±2℃
	T_L	-10^{+2}_{-5}℃
湿度	b_1, b_2, c_2, d_1, e, g	90～98%RH
	c_1, d_2	
	f	任意

図3.3　温湿度サイクル
Fig. 3.3　Cycle of damp heat in the experiment

ii）供試サンプル：赤外検知器2本（基本性能測定後のもの）

iii）試験装置：以下の振動が得られる振動試験器を用いる．

(a)　振動 55 Hz ± 5％固定，複振幅 83 μm ± 10％（0.5 G）

(b)　振動 10～55 Hz ± 5％掃引，複振幅 0.3 mm ± 10％

iv）試験方法：振動試験は一定振動を与えた場合，検知器出力に現れる振動雑音試験，および各種振動を与えた場合の耐久性（性能変化）試験の2種の試験を実施する．何れの場合も取付治具により，供試品2本を強固に振動試験器に取付けて実施する．

(a)　振動雑音試験……赤外検知器に液体窒素を注入し，振動周波数 55 Hz，複振幅 83 μm の振動を赤外検知器の縦方向（Z方向）に一定に印加して，振動有および無の状態での検知器雑音を測定する．

(b)　耐久性試験……赤外検知器に次の振動をX，Y，Zの3方向に印加した後，性能測定を行う．この場合は液体窒素は注入しない．

- ○振動掃引範囲　　10 ～ 55 Hz
- ○振動掃引変化　　3 Hz / 分以上
- ○複振幅　　0.3 mm
- ○試験時間　　1方向につき30分

v) 測定項目：表3.1，3の評価項目を測定する.

vi) 測定条件：検知器にバイアス電流を要する測定項目においては，基本性能測定において，比検出能 D^* が最大となったバイアス電流を印加する.

(4) 長期安定性試験

i) 関連規格：JIS C 5036

ii) 供試サンプル：赤外検知器２本（温湿度サイクル終了後のもの）

iii) 試験方法：赤外検知器２本を取付台に置き，室温中に放置する.

iv) 測定項目：表3.1，4に示す評価項目を測定する.

v) 測定条件：図3.4に示す測定タイミングで，液体窒素を注入し，約10分後に測定を開始する．また検知器にバイアス電流を要する測定項目においては，基本性能測定において，比検出能 D^* が最大となったバイアス電流を印加する.

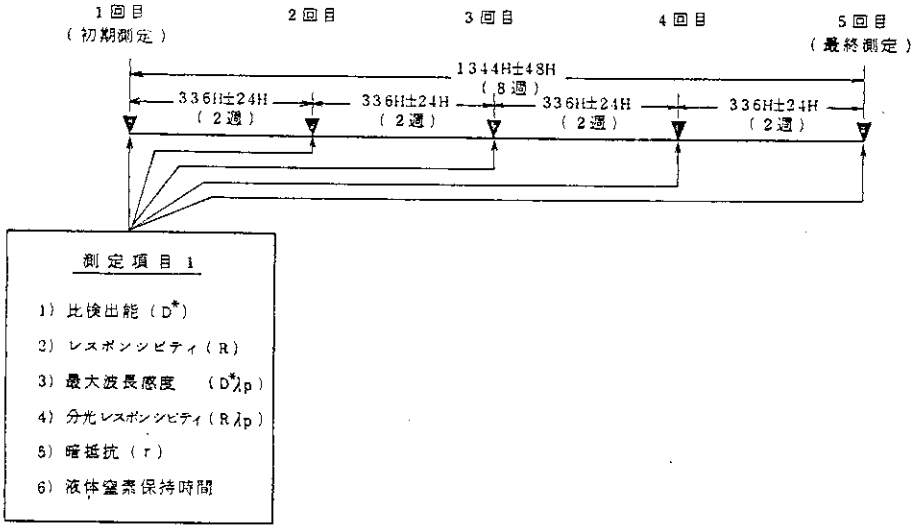


図 3.4 長期安定性試験性能測定タイミングと測定項目

Fig. 3.4 Timings and parameters for performance test in the long-term stability experiment of infrared detectors

(5) 衝撃試験

i) 関連規格：JIS C 5036

ii) 供試サンプル：検知器デュア ２本

iii) 試験装置：表3.3に示す衝撃が印加できる衝撃試験器を用いる.

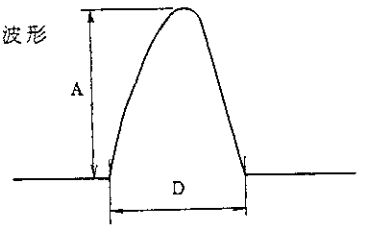
iv) 試験方法：表3.3に示す試験１および試験２を行う．赤外検知器は取付治具により振動試験器に固定し，表3.3に示す条件でX，Y，Zの３方向に各々３回衝撃を印加する．試験順序は試験１から試験２とする.

表3.3　衝撃条件
Table 3.3　Condition of impact experiment for infrared detector

衝撃条件（注1）

	最大加速度　A	作用時間 D	速度変化 Vi (注2)	備　考
試験1	294m/S^2（30G相当）±20%	18mS±15%	3.37m/S	JIS C 5026
試験2	490m/S^2（50G相当）±20%	11mS±15%	3.43m/S	JIS C 5026

注1）パルス波形



注2）速度変化 $Vi = \frac{2AD}{\pi}$（m/S）

表3.4　気圧条件
Table 3.4　Condition of atmospheric pressure experiment for infrared detector

	圧力高度	絶対圧力	備　考
試験1	2438m(+8000 ft)	564.4 mm Hg	JIS W 7002
試験2	6096m(+20000 ft)	349.3 mm Hg	JIS W 7002

v）測定項目：表3.2，1に示す評価項目を測定する．

vi）測定タイミング：衝撃印加前，試験1終了後，試験2終了後の3回行う．

(6)　気圧試験

i）関連規格：JIS W 7002

ii）供試サンプル：検知器デュア　2本

iii）試験装置：表3.4に示す気圧が印加できる気圧試験槽を用いる．

iv）試験方法：表3.4の試験1の条件で試験した後，引続き15秒以内に試験2の圧力に減圧する．試験1,2の保持時間は，各々24時間とし，周囲室温で実施する．

v）測定項目：表3.2，2に示す評価項目を測定する．

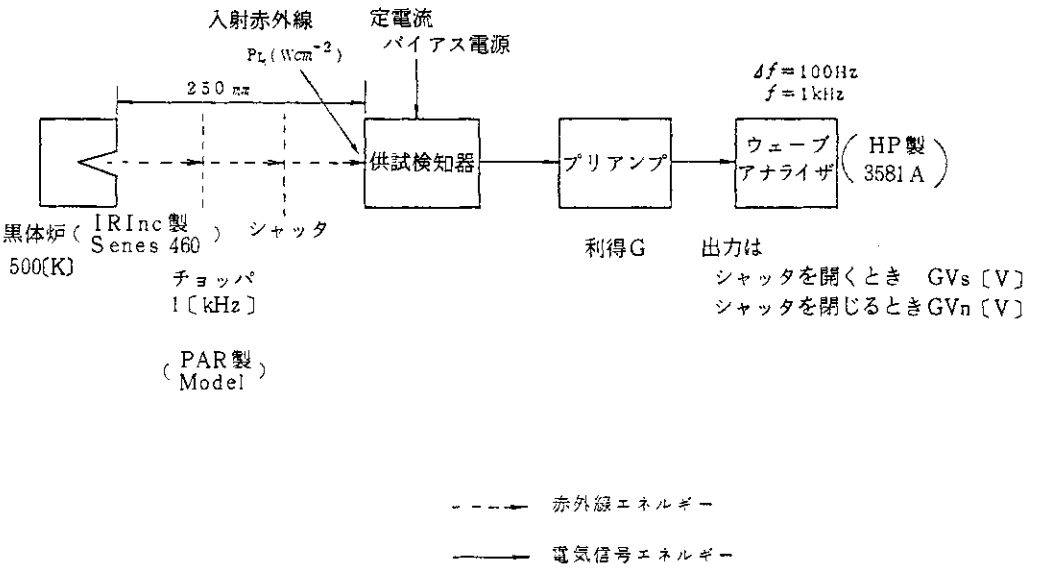


図3.5 比検出能（D^*）およびレスポンシビティ（R）測定系

Fig. 3.5 Measurement system for detectivity (D*) and responsivity (R) infrared detectors

vi) 測定タイミング：減圧前，試験1終了後，試験2終了後の3回測定する．

3.3.2 評価項目測定方法

(1) 比検出能（D^*）

i) 測定系統：図3.5に示す．

ii) 測定方法：図3.5に示す測定系において，ウェーブアナライザの中心周波数fをチョッピング周波数1 kHzに合わせ，周波数帯域幅Δfを100 Hzに設定する．この時，赤外検知器の前に設置されたシャッタを開にして，ウエーブアナライザで検知器出力信号電圧V_sを測定し，次にこのシャッタを閉じて同様に検知器雑音電圧V_nを測定し，次式に代入してD^*を計算する．

$$D^*(500\,\mathrm{K}, 1\,\mathrm{kHz}, 1\,\mathrm{Hz}) = \frac{V_s/V_n}{P_L} \cdot A^{1/2} \cdot \Delta f^{1/2} \ (\mathrm{cm\ Hz^{1/2}\ W^{-1}}) \quad (3.1)$$

ここに，V_s：検知器信号出力電圧（V）

V_n：検知器雑音電圧（V）

A：検知器素子面積＝0.015×0.015（cm^2）

Δf：周波数帯域幅＝100（Hz）

P_L：500 Kの黒体より得られる入射赤外パワー＝2.25×10^{-9}（W）

〔詳細は(9)項参照〕

(2) レスポンシビティ（R）

i）測定系統：図3.5に示す．

ii）測定方法：(1)の比検出能 D^* と同一測定方法により検知器出力信号 V_s を測定し，次式に代入してRを計算する．

$$R\,(500\,\mathrm{K},\ 1\,\mathrm{kHz}) = \frac{V_s}{P_L}\ (\mathrm{V/W}) \qquad (3.2)$$

ここに，V_s：検知器信号出力電圧（V）

P_L：500 Kの黒体より得られる入射赤外パワー＝2.25×10^{-9}（W）

(3) 相対分光感度（β_λ）

i）測定系統：図3.6に示す．

ii）測定方法：検知器出力信号のうち，チョッピング周波数成分のみの電圧を測定するためにロックインアンプを用いる．分光器により入射赤外波長入を変えていき，そのときのロックインアンプからの出力電圧$V_{s\lambda}$を順次記録する．次に光路を切りかえて波長特性の平坦な熱検知器を用いて光源の波長特性のリファレンスをとる．このとき，ロックインアンプ出力$V_{s'\lambda}$を順次記録する．以上の測定値から相対分光感度特性，κD^*_λ（1 kHz）は次式により求められる．

$$\kappa D^*_\lambda\,(1\,\mathrm{kHz}) = V_{s\lambda}/V_{s'\lambda} \qquad (3.3)$$

従って，最大感度波長 λ_p における感度が1となるよう規準化した相対分光感度 β_λ

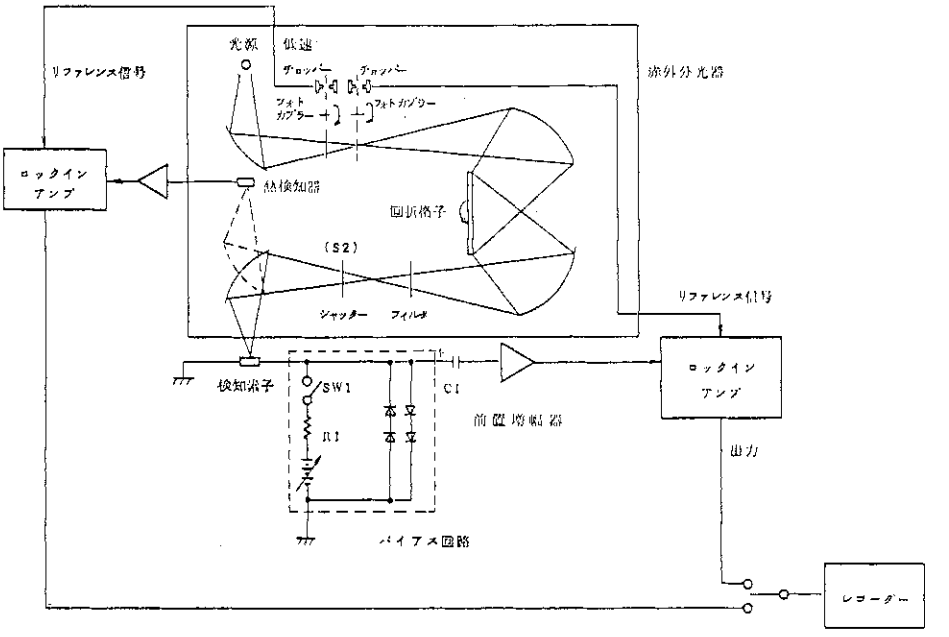


図3.6　分光感度の測定系

Fig. 3.6　Measurement system for spectral sensitivity of infrared detector

（1 kHz）は次式により求められる.

$$\beta_\lambda = \frac{\kappa D^*_\lambda}{\kappa D^*_{\lambda p}} = \frac{V_{s\lambda}/V_{s'\lambda}}{V_{s\lambda p}/V_{s'\lambda p}} \qquad (3.4)$$

ここに，$\kappa D^*_{\lambda p}$ は式（3.3）から求められた κD^*_λ のピーク値であり，λ_p は最大感度波長である.

(4) 最大波長感度（$D^*_{\lambda p}$）

i) 測定系統：図3.5および図3.6による.

ii) 測定方法：比検出能 D^*（500 K，1 kHz，1 Hz）を用いて，次式により算出する.

$$D^*_{\lambda p} = \gamma D^* \qquad (3.5)$$

ここに，γ は比例定数であり，次式により得られる｛詳細は(9)項参照｝.

$$\gamma = \frac{\int_0^\infty W_\lambda \, d_\lambda}{\int_0^\infty \beta_\lambda W_\lambda \, d_\lambda} \qquad (3.6)$$

ここに，W_λ：500 Kの黒体の分光エミッタンス

β_λ：相対分光感度

(5) 分光レスポンシビティ（$R_{\lambda p}$）

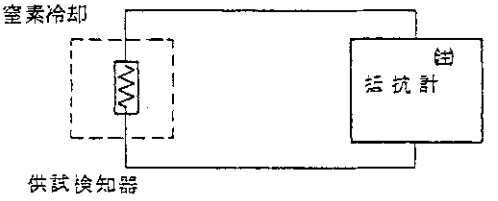
i) 測定系統：図3.6および図3.7による.

ii) 測定方法：レスポンシビティ（R）を用いて，次式により算出する.

$$R_{\lambda p} = \gamma R \qquad (3.7)$$

ここに，γ は（3.6）により得られる比例定数

(6) 暗抵抗（r）の測定



㊟ 抵抗計は、測定時の電流が1mA以下のものを使用する。

図3.7 暗抵抗測定系

Fig. 3.7 Measurement system for dark resistance of infrared detector

i）測定系統：図3.7に示す.

ii）測定方法：図3.7の測定系において，検知器に液体窒素を注入冷却し，10分後抵抗値を抵抗計で測定する.

(7) 液体窒素保持時間

i）測定系統：図3.8に示す.

ii）測定方法：図3.8の測定系において，暗抵抗をレコーダにより記録して測定し，液体窒素冷却後，抵抗計の暗抵抗の指示値が検知器固有の値になった時間を t_1 とし，窒素蒸発により抵抗値が低下し始めた時間を t_2 として次式により液体窒素保持時間 t_H を求める.

$$t_H = t_2 - t_1 \qquad (3.8)$$

(8) 振動雑音

i）測定系統：図3.9に示す.

ii）測定方法：図3.9の測定系において，加振しない場合の雑音 A_n および加振した場合の雑音 B_n を測定し，次式により振動による雑音増加率Nを測定する.

$$N = B_n / A_n \qquad (3.9)$$

(9) 入射赤外パワー P_L および比例常数 γ の説明

i）入射赤外パワー P_L について

信号源の黒体から放射された赤外光が検知素子に入射するときのパワー P_i（W）は，次のように求められる.

条件は次のとおりとする.

a．信号黒体の温度：T_B（K）

b．環境温度（含チョッパ）：T_a（K）

c．環境の放射率（含チョッパ）：$\varepsilon = 1$

d．信号源黒体の開口面積：S_B（cm^2）（$= \pi r_B^2$）

e．検出素子面積：S_D（cm^2）

f．信号源と検出素子面の距離：L（cm）

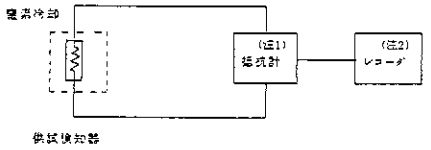
$$L \gg S_B^{1/2},\ S_D^{1/2}$$

以上の条件のとき，

黒体エミッタンス

$$W = \sigma (T_B^4 - T_a^4) \qquad (W\,cm^{-2}) \qquad (3.10)$$

ここに，σ：ステファン・ボルツマン定数＝ 5.6687×10^{-12}（$W\,cm^{-2}\,K^{-1}$）



注1） 抵抗計は、測定時の電流が1mA以下のものを使用する。

注2） レコーダ出力の例

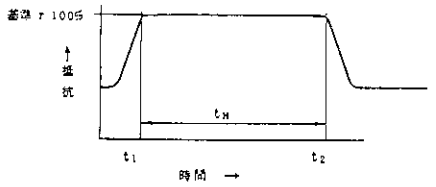
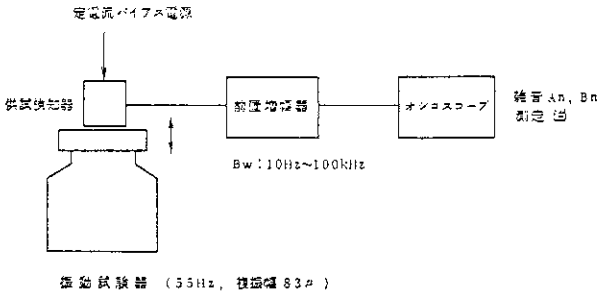


図3.8 液体窒素保持時間

Fig. 3.8 Retention time of liquid nitrogen poured into infrared detector



(注) オシロスコープ観察波形

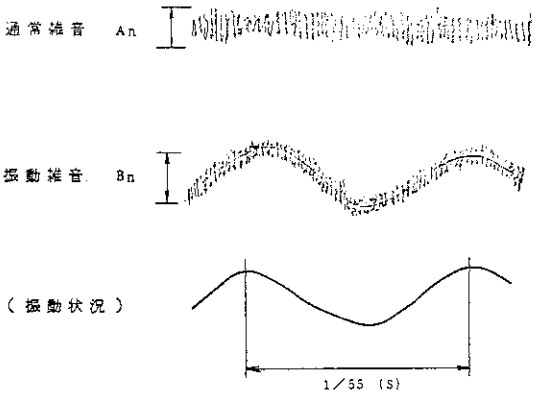


図3.9 振動雑音測定系

Fig. 3.9 Measurement system for vibration noise of infrared detector

黒体放射パワー

$$P_e = WS_B = \sigma (T_B^4 - T_a^4) S_B \quad (\mathrm{W}) \qquad (3.11)$$

黒体イラジアンス

$$H = WS_B/\pi L^2 = \sigma (T_B^4 - T_a^4) S_B/\pi L^2 \quad (\mathrm{W\,cm^{-2}}) \qquad (3.12)$$

となり，以上から検出素子入射パワー P_i は，

$$P_i = HS_D = \sigma (T_B^4 - T_a^4) S_B S_D/\pi L^2 \quad (\mathrm{W}) \qquad (3.10)$$

で与えられる．

従って，$T_B = 500\,\mathrm{K}$，$T_a = 295\,\mathrm{K}$（22℃），$S_B = 0.196\,\mathrm{cm^2}$（$r_B = 0.25\,\mathrm{cm}$），$S_D = 2.25\times10^{-4}\,\mathrm{cm^2}$（$d = 0.015\,\mathrm{cm}$），$L = 25\,\mathrm{cm}$

のとき，それぞれ

$W = 5.6697\times10^{-2}(500^4 - 295^4) = 0.311 \quad (\mathrm{W\,cm^{-2}})$

$P_e = 0.311\times0.196 = 6.10\times10^{-2} \quad (\mathrm{W})$

$H = 6.10\times10^{-2}/\pi(25)^2 = 3.11\times10^{-5} \quad (\mathrm{W\,cm^{-2}})$

$P_i = 3.11\times10^{-5}\cdot 2.25\times10^{-4} = 7.0\times10^{-9} \quad (\mathrm{W})$

となる．

一方，チョッパのスリットとプレート幅が 1：1 で，黒体の開口径（0.5 cmφ）と同じにした場合の基本波の実効値は，全パワーの 0.321 倍となる（測定系で信号電圧 V_s はウェーブアナライザによって基本波成分のみを計測する）．

従って，実効イラジアンス H_L は，$H_L = 0.321\,H = 10\times10^{-6} \quad (\mathrm{W\,cm^{-2}})$

となり，各種検知器の測定における H_L は通常この値となる．このとき，実効検知素子入射パワー P_L は，

$$P_L = 0.321\,P_i = 2.25\times10^{-9} \quad (\mathrm{W})$$

となる．

ii）比例定数 γ について

最大波長感度 $D^*_{\lambda p}$ と分光感度 D^*_λ との関係は，相対分光感度 β_λ を導入して次式により与えられる．

$$D^*_\lambda = \beta_\lambda D^*_{\lambda p} \qquad (3.14)$$

上式から，

$$D^* \int_0^\infty W_\lambda d\lambda = \int_0^\infty D^*_\lambda W_\lambda d\lambda = D^*_{\lambda p} \int_0^\infty \beta_\lambda W_\lambda d\lambda \qquad (3.15)$$

となり，その結果 $D^*_{\lambda p}$ と D^* との比 γ は次式により与えられる．

$$\gamma = \frac{D^*_{\lambda p}}{D^*} = \frac{\int_0^\infty W_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty \beta_\lambda W_\lambda d\lambda} \qquad (3.16)$$

となり，式（3.6）が得られる．

また，式（3.1），（3.2）より，以上の式は D^* を R に，$D^*_{\lambda p}$ を $R_{\lambda p}$ に置換しても成立することが明らかである．よって，

$$\gamma = \frac{D^*_{\lambda p}}{D^*} = \frac{R_{\lambda p}}{R} \qquad (3.17)$$

となる．

3.4 試験結果

3.4.1 基本性能試験

基本性能試験は，試作した赤外検知器（４本）に実施するもので，表1.1に示した高温用赤外検知器仕様に含まれる性能のほか，次の性能項目を測定した．

1）比検出能（D^*）

2）レスポンシビティ（R）

3）暗抵抗（r）

比検出能（D^*）およびレスポンシビティ（R）は，最大波長感度（$D^*_{\lambda p}$）および分光レスポンシビティ（$R_{\lambda p}$）が最大感度波長 λ_p における感度および応答であるのに対し，温度500Kの黒体から得られた赤外パワーを検知素子に入射して得た感度および応答である．これは測定条件が検知器によらず一定（500K黒体）であるところから，検知器性能比較に有効であるため，各種環境負荷試験の指標データとして測定を行った．

また暗抵抗は，素子結晶の組成により決定されるものであるが，これは冷却状態により変化する性質があり，そのためデュアの環境負荷試験の指標データとして測定を行った．表3.5および図3.10，図3.11，図3.12に基本性能試験結果を示す．なお，４本の赤外検知器の分類は形名によって行うものとし，各々MC1-1-150-A-PH1～PH4 と命名しデータに付すことにした．

また，図3.13～15に性能試験状況および測定系の外観を示す．

3.4.2 温湿度サイクル試験

温湿度サイクル試験では，赤外検知器２本（PH1，PH2）を用い，表3.1，2 に示す性能項目の温湿度サイクル負荷による性能変化を測定した．

なお，上記性能項目中1）～6）は検知素子の電気性能の耐性を試験するものであり，6），7）はデュアの構造的な耐性を試験することを目的とする．

表 3.5　基本性能試験結果

Table 3.5　Results of basic performance test for infrared detectors

	項　　目	規　格	単　位	実測値 MC1-0150-A-PH1	MC1-0150-A-PH2	MC1-0150-A-PH3	MC1-0150-A-PH4
1	比検出能（D^*）	—	$cm \cdot Hz^{1/2} \cdot W^{-1}$	7.3×10^{9}	1.1×10^{10}	7.8×10^{9}	7.7×10^{9}
2	レスポンシビティ（R）	—	$V \cdot W^{-1}$	7.3×10^{3}	1.2×10^{4}	3.3×10^{3}	5.8×10^{3}
3	相対分光感度（β_λ）	有効3～5 μm帯		図3.10(a)	図3.10(b)	図3.10(c)	図3.10(d)
4	最大波長感度（$D^*_{\lambda p}$）	2×10^{10}以上	$cm \cdot Hz^{1/2} \cdot W^{-1}$	2.9×10^{10}	4.2×10^{10}	3.1×10^{10}	3.1×10^{10}
5	分光レスポンシビティ（$R_{\lambda p}$）	3×10^{3} 以上	$V \cdot W^{-1}$	2.9×10^{4}	4.3×10^{4}	1.3×10^{4}	2.3×10^{4}
6	暗抵抗（r）	—	Ω	79.9	79.9	63.9	82.7
7	液体窒素保持時間	2.0以上	Hrs	8.0（58.1.11）	8.17（58.1.11）	8.2（58.1.11）	8.25（58.1.11）
8	最大感度波長（λ_p）	4.5～5.5	μm	5.0	5.1	4.8	5.1
9	時定数（τ）	2以下	μs	0.7	0.9	0.7	0.7
10	最適バイアス電流（I_b）	—	mA	7（図3.11(a)）	9（図3.11(b)）	4（図3.11(c)）	3（図3.11(d)）
11	素子寸法（d）	150×150	μm^2	149×150	149×150	150×150	150×150
12	視野（F_{0k}）	50	deg	49.8	49.8	49.8	49.8
13	構造・寸法	縦形デュア構造	mm	判定良（図3.12）	判定良（図3.12）	判定良（図3.12）	判定良（図3.12）

注）D^*, R, $D^*_{\lambda p}$, $R_{\lambda p}$ は液体窒素（77 K）冷却時，各検知器の I_b における値とする．

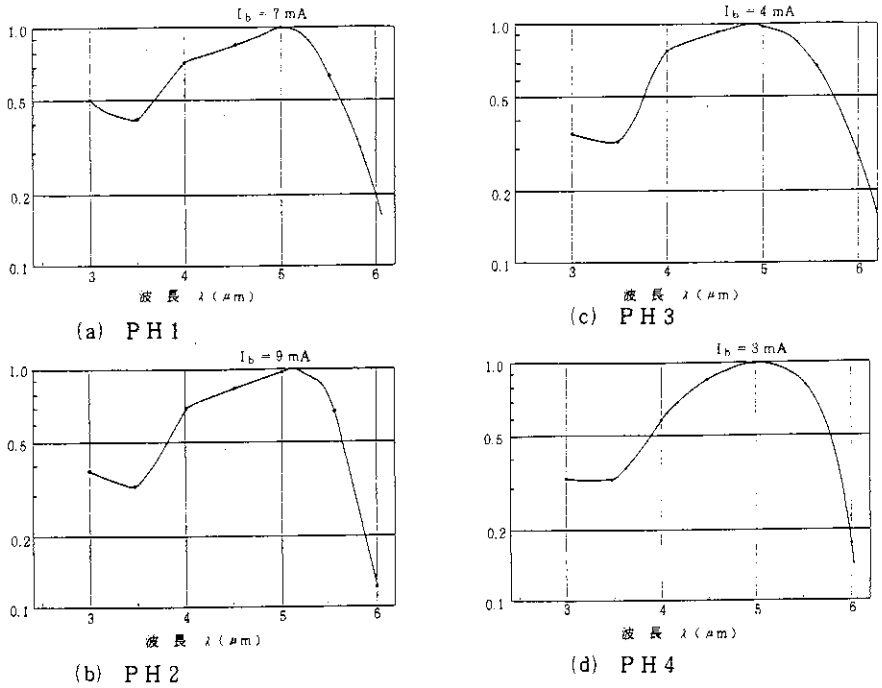


図 3.10　(a), (b), (c), (d) 相対分光感度

Fig. 3.10　Relative spectral sensitivities of infrared detectors

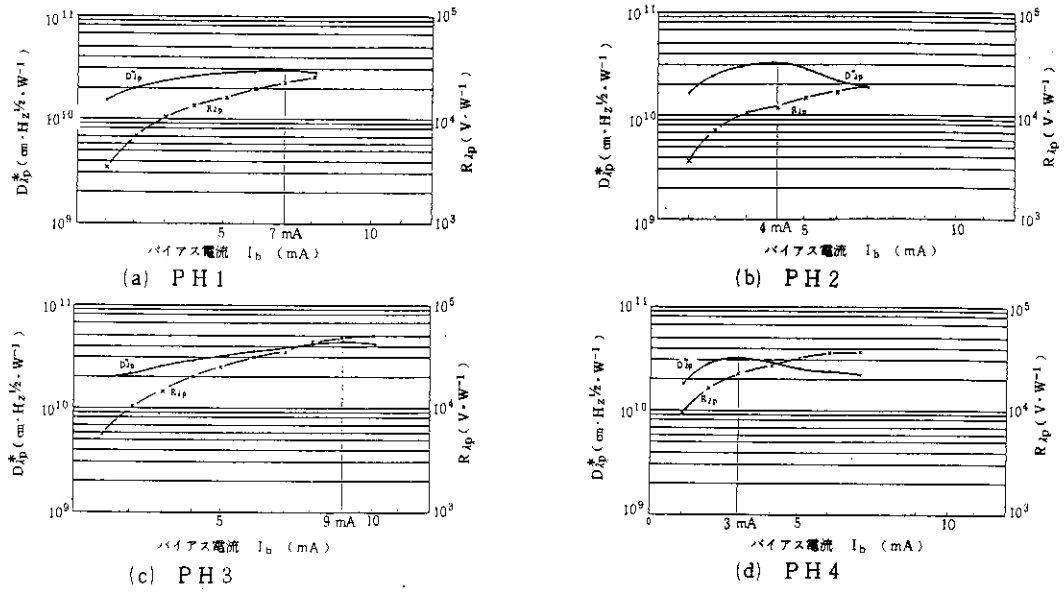


図 3.11 (a), (b), (c), (d) バイアス電流と $D^*_{\lambda p}$, $R_{\lambda p}$ との関係

Fig. 3.11 Relation between bias current and Dλp, Rλp of infrared detector

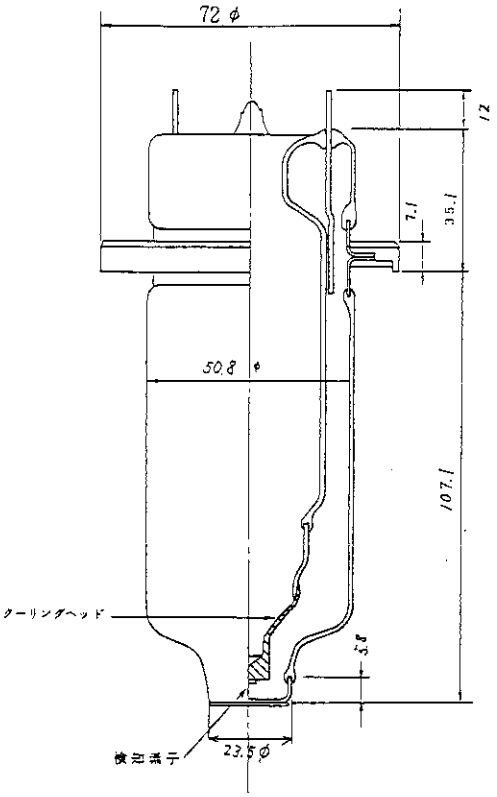


図 3.12 検知器の構造・寸法（PH1～4）

Fig. 3.12 Structure and dimention of infrared detectors (PH1-PH4)

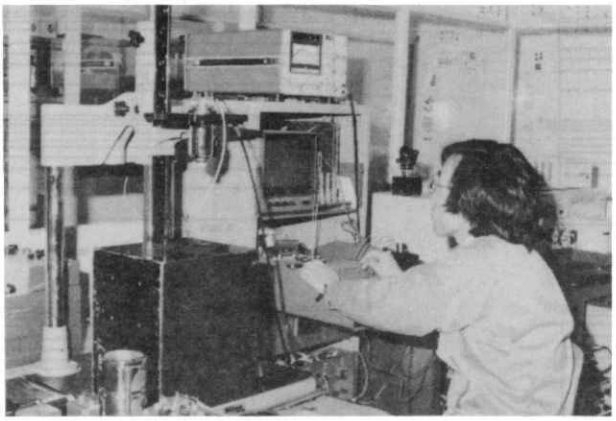


図 3.13　性能試験状況

Fig. 3.13　Outlook of performance test of infrared detector

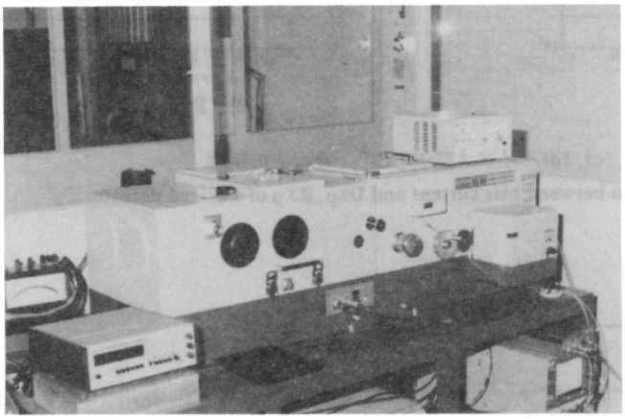


図 3.14　波長感度測定系

Fig. 3.14　Measurement system for spectral sensitivity of infrared detector

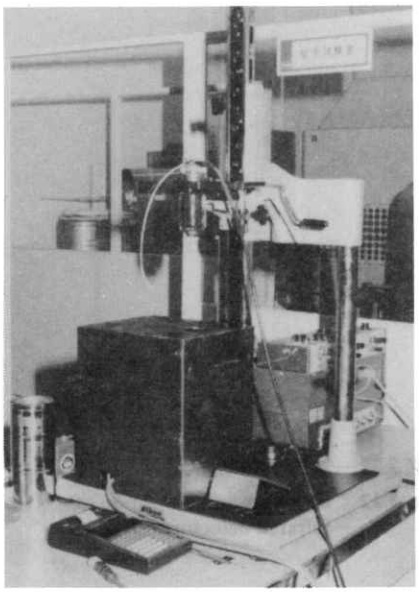


図 3.15　黒体感度測定系

Fig. 3.15　Measurement system for sensitivity of infrared detector using blackbody radiation

表 3.6，図 3.16 に試験結果を示す．また，図 3.17 ～ 18 に使用した恒温槽および検知器セッティング状況を示す．

表 3.6　温湿度サイクル試験結果

Table 3.6　Results of damp heat cycle experiment for infrared detectors

	項目	単位	試験結果					
			PH1			PH2		
			A・前	B・後	C・変化（B−A）	A・前	B・後	C・変化（B−A）
1	比検出能（D^*）	$cm \cdot Hz^{1/2} \cdot W^{-1}$	7.3×10^{9}	9.9×10^{9}	2.6×10^{9}（+35.6%）	1.1×10^{10}	0.6×10^{10}	-0.5×10^{10}（−45%）
2	レスポンシビティ（R）	$V \cdot W^{-1}$	5.7×10^{3}	3.7×10^{3}	-2.2×10^{3}（−37.3%）	1.2×10^{4}	0.5×10^{4}	-0.7×10^{4}（−58%）
3	相対分光感度（β_λ）		図3.16(a	同左		図3.16(b)	同左	
4	最大波長感度（$D^*_{\lambda p}$）	$cm \cdot Hz^{1/2} \cdot W^{-1}$	2.9×10^{10}	3.9×10^{10}	1.0×10^{10}（+35%）	4.2×10^{10}	2.3×10^{10}	-1.9×10^{10}（−45%）
5	分光レスポンシビティ（$R_{\lambda p}$）	$V \cdot W^{-1}$	2.9×10^{4}	1.5×10^{4}	-1.4×10^{4}（−4.8%）	4.3×10^{4}	1.9×10^{4}	-2.4×10^{4}（−55.8%）
6	暗抵抗（r）	Ω	79.9	73.1	−6.8（−8.5%）	63.2	59.7	−35（−5.5%）
7	液体窒素保持時間	H	8.0	8.0	0	8.2	8.0	−0.2
	バイアス電流	mA	1〜5に対して7	同左		1〜5に対して9	同左	
	試験日時		昭和58年1月17日9時21分〜22日17時20分			昭和58年1月17日9時21分〜22日17時20分		

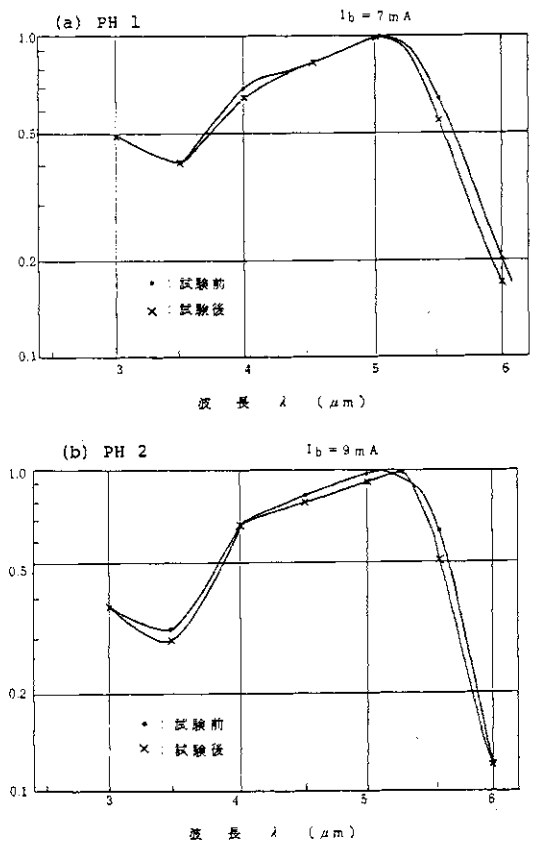


図 3.16　(a), (b) 相対分光感度の変化

Fig. 3.16　Changes of relative spectral sensitivities of infrared detectors between before and after the damp heat cycle experiment

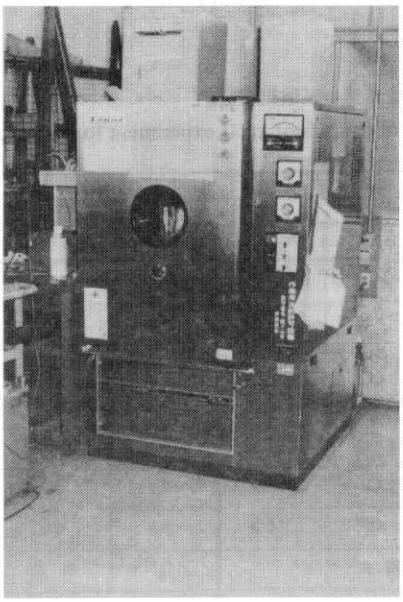


図 3.17　恒　温　槽
Fig. 3.17　Outlook of damp heat chamber

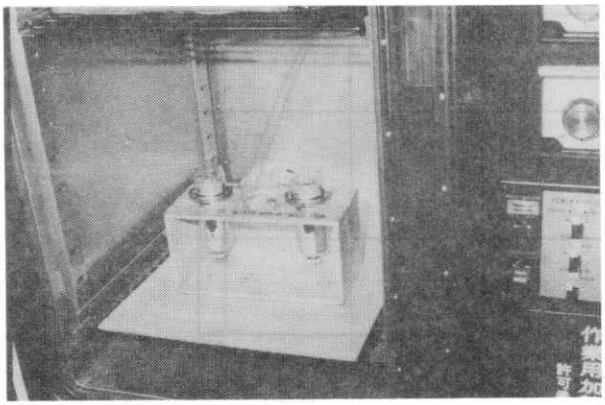


図 3.18　検知器セッティング状況
Fig. 3.18　Outlook of detector setting

表 3.7　振動雑音（PH3, PH4）
Table 3.7　Vibration noise of infrared detectors (PH1, PH2)

供試検知器	非加振時雑音	加振時雑音	増加率
PH3	10mVp-p	13mVp-p	1.3倍
PH4	10mVp-p	15mVp-p	1.5倍

3.4.3　振動試験

振動試験では，赤外検知器２本（ＰＨ３，ＰＨ４）を用い，振動負荷による検知器雑音の測定および，表3.1，3の項目について，その性能変化を測定した．

振動雑音測定の結果を表3.7に示す．また雑音の波形写真を図3.19に示す．この(a)－1，2は，検知器ＰＨ３の非加振および加振時の前置増幅出力雑音波形であり，(b)－1，2はＰＨ４のそれを示している．

振動による性能変化の測定結果を表3.8，図3.20に示す．また図3.21，図3.22に振動試験器外観および検知器マウント状況を示す．

3.4.4　長期安定性試験

長期安定性試験では，温湿度サイクル試験終了後の赤外検知器２本（ＰＨ１，ＰＨ２）を用い，室温に放置して表3.1，4に示す評価項目について性能変化を測定した．

この試験は８週間（1344時間）にわたり，２週間おきに，計５回測定を行った．その結果を表3.9に示す．

3.4.5　衝撃試験

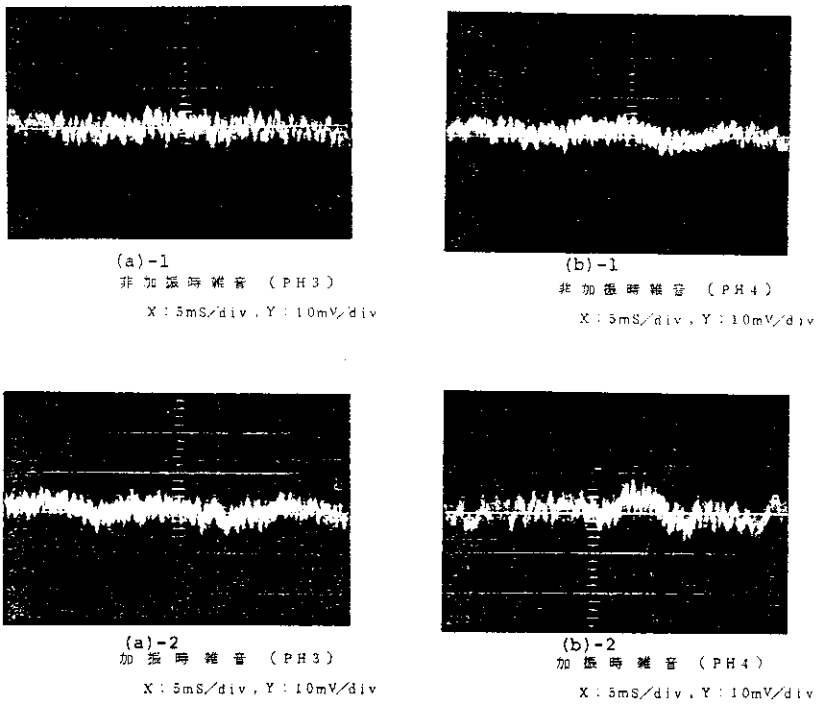


図3.19　(a)－1，2，(b)－1，2非加振時および加振時の雑音波形

Fig. 3.19　Noise wave modes of infrared detectors at non-vibrated and vibrated states

表 3.8　振動試験結果

Table 3.8　Results of vibration experiment for infrared detectors

	項目	単位	試験結果 PH3 A・前	PH3 B・後	PH3 C・変化 (B−A)	PH4 A・前	PH4 B・後	PH4 C・変化 (B−A)
1	比検出能 (D^*)	$cm \cdot Hz^{1/2} \cdot W^{-1}$	7.8×10^{9}	7.5×10^{9}	-0.3×10^{9} (−3.8%)	7.7×10^{9}	8.0×10^{9}	$+0.3\times10^{9}$ (+3.9%)
2	レスポンシビティ (R)	$V \cdot W^{-1}$	3.3×10^{3}	3.4×10^{3}	$+0.1\times10^{3}$ (+3.0%)	5.8×10^{3}	6.0×10^{3}	$+0.2\times10^{3}$ (+3.4%)
3	相対分光感度 (β_λ)		図3.20(a)	同 左		図3.20(b)	同 左	
4	最大波長感度 ($D^*_{\lambda p}$)	$cm \cdot Hz^{1/2} \cdot W^{-1}$	3.1×10^{10}	3.0×10^{10}	-0.1×10^{10} (−3.2%)	3.1×10^{10}	3.2×10^{10}	$+0.1\times10^{10}$ (+3.2%)
5	分光レスポンシビティ ($R_{\lambda p}$)	$V \cdot W^{-1}$	1.3×10^{4}	1.4×10^{4}	$+0.1\times10^{4}$ (+7.7%)	2.3×10^{4}	2.4×10^{4}	$+0.1\times10^{4}$ (+4.3%)
6	暗抵抗 (r)	Ω	63.9	63.5	−0.4 (−0.6%)	82.7	82.7	0
7	液体窒素保持時間	H	8.2	8.3	+0.1	8.25	8.20	−0.05
	バイアス電流	mA	1〜5に対して4	同 左		1〜5に対して3	同 左	
	試験日時		昭和58年2月25日			昭和58年2月25日		

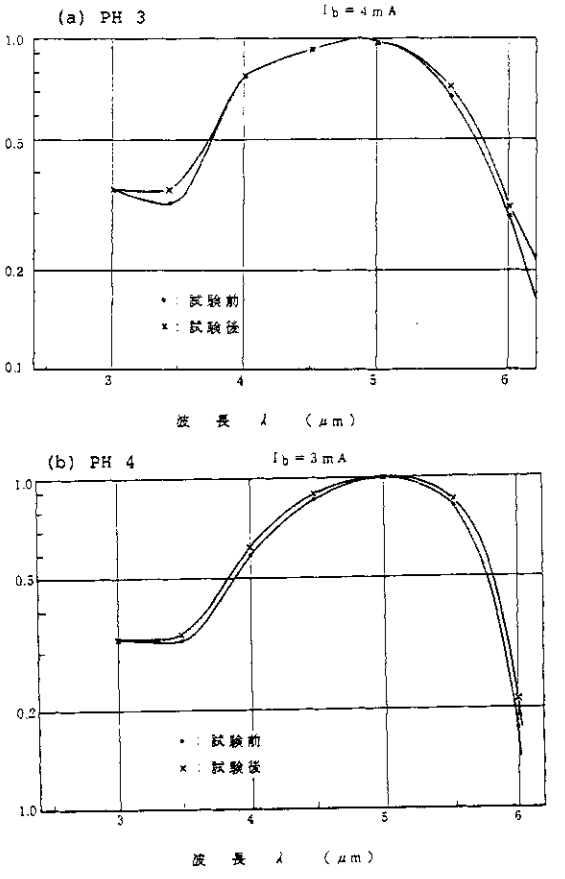


図 3.20　(a), (b)相対分光感度の変化

Fig. 3.20　Changes of relative spectral sensitivities of infrared detectors between before and after the vibration experiment

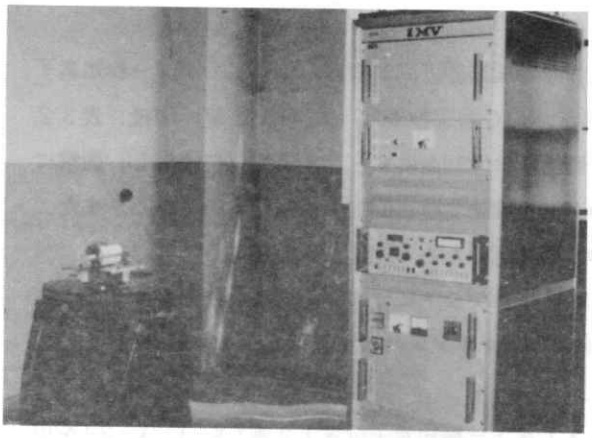


図 3.21　振動試験器
Fig. 3.21　Outlook of vibration experiment apparatus

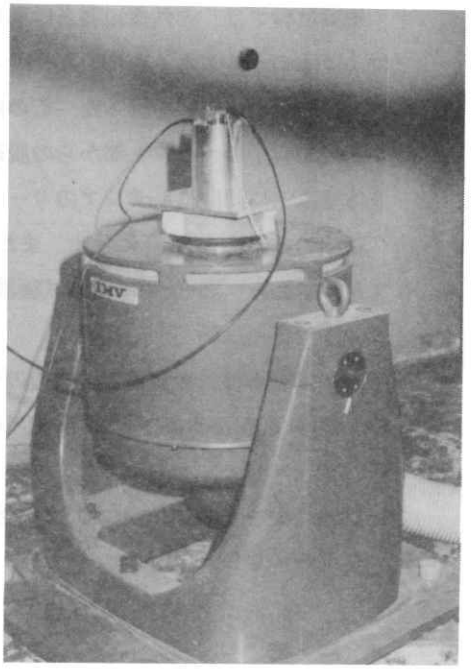


図 3.22　検知器マウント状況
Fig. 3.22　Outlook of infrared detector mounting on vibration experiment apparatus

表 3.9　長期安定性試験結果
Table 3.9　Results of long-term stability experiment for infrared detectors

（注）１回目測定データは温湿度サイクル負荷後のデータである。

検知器		項目	基本性能	測定結果 A・1回目(注)	B・2回目	C・3回目	D・4回目	E・5回目	F・変化（E−A）
		検査日時	S 58. 1. 11	S 58. 1. 24	S 58. 2. 7	S 58. 2. 21	S 58. 3. 7	S 58. 3. 21	
		時間経過		0 H	336 H	672 H	1008 H	1344 H	
PH1	1	比検出能 D^* $(cm \cdot Hz^{1/2} \cdot W^{-1})$	7.3×10^{9}	9.9×10^{9}	10.0×10^{9}	10.2×10^{9}	10.0×10^{9}	10.1×10^{9}	0.2×10^{9}
	2	レスポンシビティ R $(V \cdot W^{-1})$	5.9×10^{3}	3.7×10^{3}	3.8×10^{3}	3.8×10^{3}	3.8×10^{3}	3.9×10^{3}	0.2×10^{3}
	3	最大波長感度 $D^*_{\lambda p}$ $(cm \cdot Hz^{1/2} \cdot W^{-1})$	2.9×10^{10}	3.9×10^{10}	3.9×10^{10}	4.0×10^{10}	3.9×10^{10}	4.0×10^{10}	0.1×10^{10}
	4	分光レスポンシビティ $R_{\lambda p}$ $(V \cdot W^{-1})$	2.9×10^{4}	1.5×10^{4}	1.5×10^{4}	1.5×10^{4}	1.5×10^{4}	1.5×10^{4}	0
	5	暗抵抗 r (Ω)	79.9	73.1	73.9	73.7	73.2	73.4	0.3
	6	液体窒素保持時間 (H)	8.0	8.0	7.8	8.0	8.2	8.0	0
PH2	1	比検出能 D^* $(cm \cdot Hz^{1/2} \cdot W^{-1})$	1.1×10^{10}	6.1×10^{9}	6.3×10^{9}	6.4×10^{9}	6.2×10^{9}	6.2×10^{9}	0.1×10^{9}
	2	レスポンシビティ R $(V \cdot W^{-1})$	1.2×10^{4}	5.0×10^{3}	5.1×10^{3}	5.2×10^{3}	5.2×10^{3}	5.3×10^{3}	0.3×10^{3}
	3	最大波長感度 $D^*_{\lambda p}$ $(cm \cdot Hz^{1/2} \cdot W^{-1})$	4.2×10^{10}	2.3×10^{10}	2.4×10^{10}	2.4×10^{10}	2.3×10^{10}	2.3×10^{10}	0
	4	分光レスポンシビティ $R_{\lambda p}$ $(V \cdot W^{-1})$	4.3×10^{4}	1.9×10^{4}	1.9×10^{4}	2.0×10^{4}	2.0×10^{4}	2.0×10^{4}	0.1×10^{4}
	5	暗抵抗 r (Ω)	63.2	59.7	60.8	59.7	60.2	60.3	0.6
	6	液体窒素保持時間 (H)	8.17	8.01	7.9	8.0	8.1	8.1	0.09

バイアス電流は，１～４項に対し，PH1で7mA，PH2で9mAである。

衝撃試験では，赤外検知器とは別に試作した検知器と同じ構造のデュア（ダミー検知素子付）4本のうち2本（X−3，X−4）を用い，30Gおよび50Gの2種の衝撃印加後，表3.2，1の評価項目の測定を行った．この内，暗抵抗は冷却温度に依存する性質に注目し，衝撃による検知素子のマウント部からの脱落の有無を確認する目的で実施したものである．また，液体窒素保持時間は，デュアのリークの有無確認のため実施したものである．

試験の結果を表3.10に示す．また図3.23にはデュアに実際印加された衝撃パルスの波形を示す．また，図3.24に衝撃試験器とデュアのマウントの状況を示す．

3.4.6　気圧試験

気圧試験では，検知器と同構造のデュア（ダミー検知素子付き）2本（X−1，X−2）を用い，高度2438mおよび6096m相当の2種の気圧を印加し，表3.2，2の評価項目の測定を行った．

試験結果を表3.11に示す．また図3.25，図3.26に気圧試験槽およびデュアのセッテイング状況を示す．

4. 評　価

4.1　基本性能試験

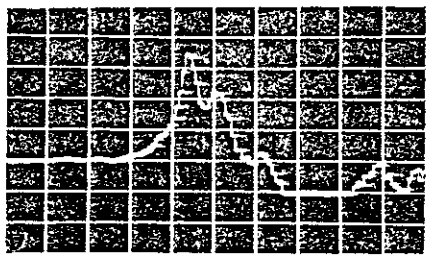
試作した4本の検知器（MC1-0150-A-PH1〜4）の試験結果は，3.4.1に示した通りであり，これから，はじめに設計目標とした各性能項目を全て満たすことがわかり，基本性能としては十分確保できたと評価できる．

表3.10　衝撃試験結果
Table 3.10　Results of impact experiment for infrared detectors

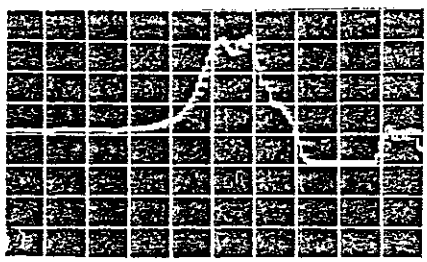
	測定項目	試験結果					
		X−3			X−4		
		A・前	注1) B・後1	注2) C・後2	A・前	注1) B・後1	注2) C・後2
1	外観	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
2	暗抵抗（77K）	235 ohm	232 ohm	231 ohm	5.8 ohm	5.8 ohm	6.1 ohm
3	液体窒素保持時間	7.58 hrs	7.62 hrs	7.57 hrs	8.01 hrs	7.98 hrs	8.0 hrs
	検査日時	昭和58年2月22日9時〜23日17時			同左		
	温度	16.5℃			同左		
	湿度	53%			同左		

注1）30G相当衝撃，注2）50G相当衝撃

供試デュア X－3



（X方向衝撃）



（Y方向衝撃）



（Z方向衝撃）

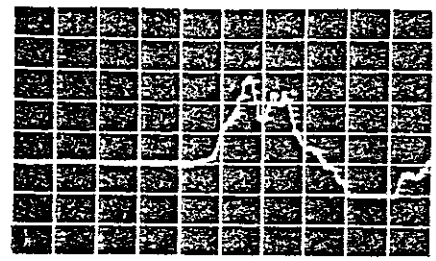
(a)－1

30 G相当

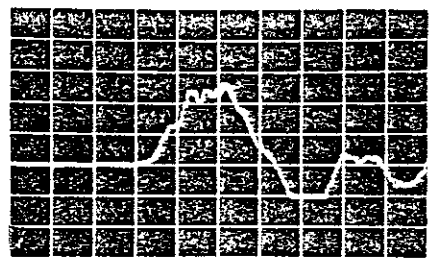
X：5 ms / div

Y：10 G / div

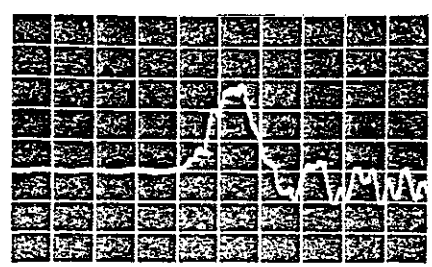
供試デュア X－3



（X方向衝撃）



（Y方向衝撃）



（Z方向衝撃）

(a)－2

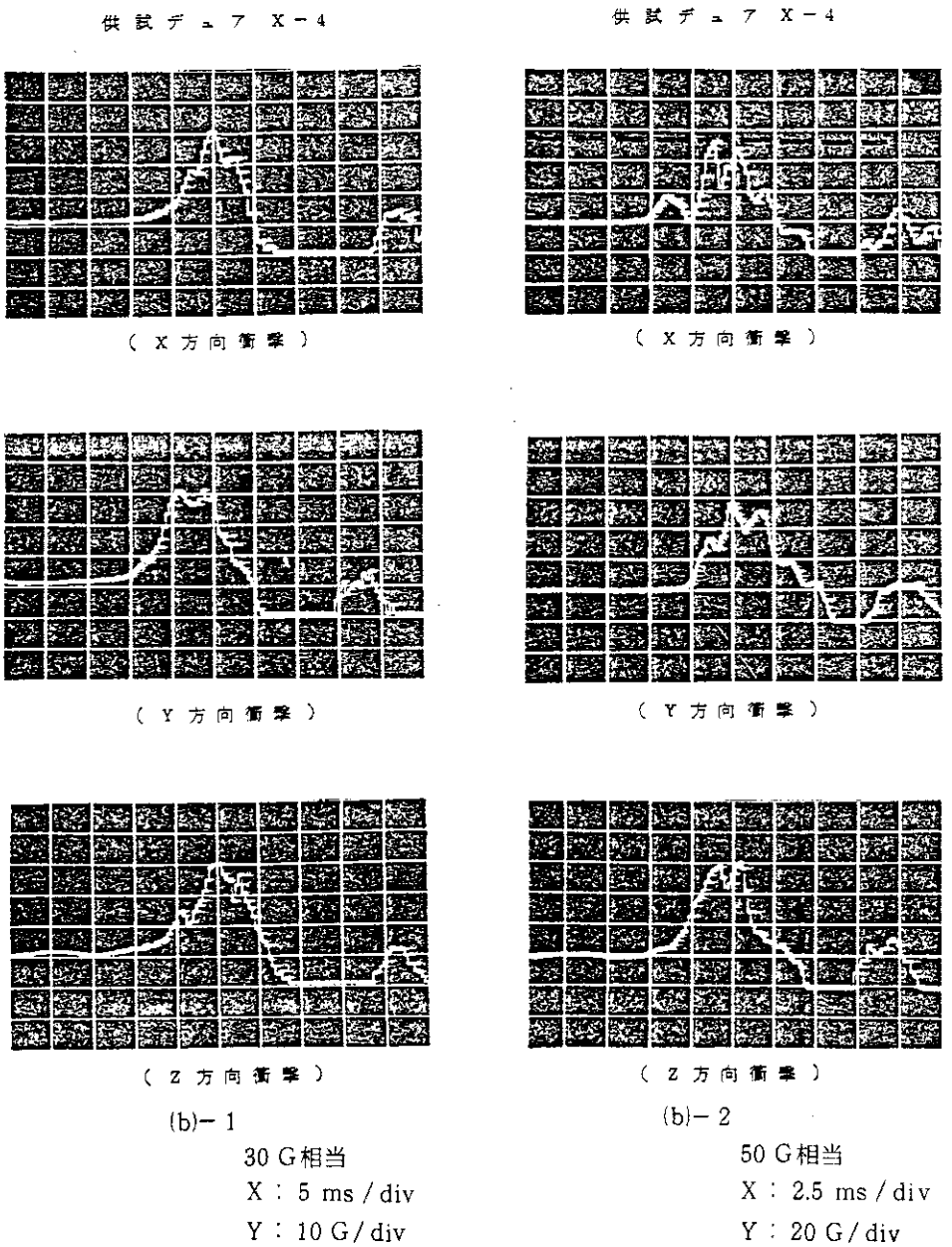
50 G相当

X：2.5 ms / div

Y：20 G / div

図 3.23　(a)－1, 2 衝撃パルス波形

Fig. 3.23　Pulse wave modes of impact experiment



(b)－1
30 G相当
X：5 ms / div
Y：10 G / div

(b)－2
50 G相当
X：2.5 ms / div
Y：20 G / div

図 3.23　(b)－1, 2 衝撃パルス波形

Fig. 3.23　Pulse wave modes of impact experiment

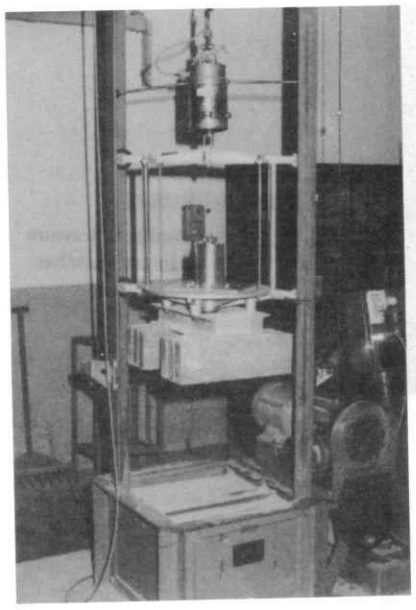


図 3.24　衝撃試験器とデュアのマウント状況

Fig. 3.24　Outlook of impact apparatus and dewer mounting

表 3.11　気圧試験結果

Table 3.11　Results of atmospheric pressure experiment for infrared detectors

	測定項目	試験結果					
		X－1			X－2		
		A・前	注1) B・後1	注2) C・後2	A・前	注1) B・後1	注2) C・後2
1	外観	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
2	暗抵抗	1600 ohm	1600 ohm	1630 ohm	33.2 ohm	33.0 ohm	32.9 ohm
3	液体窒素保持時間	8.03 hrs	8.00 hrs	8.01 hrs	8.00 hrs	8.11 hrs	8.08 hrs
	検査日時	昭和58年２月22日９時～25日９時			同左		
	温度	21℃			同左		
	湿度	49％			同左		

注１）　2,438 m（8,000 ft）相当気圧　　注２）　6,096 m（20,000 ft）相当気圧

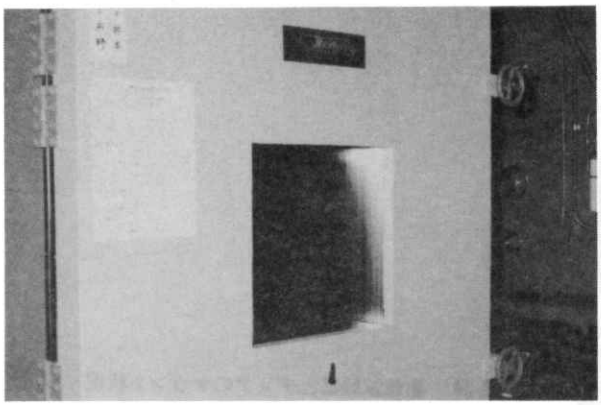


図 3.25　気圧試験槽
Fig. 3.25　Atmospheric pressure experiment chamber

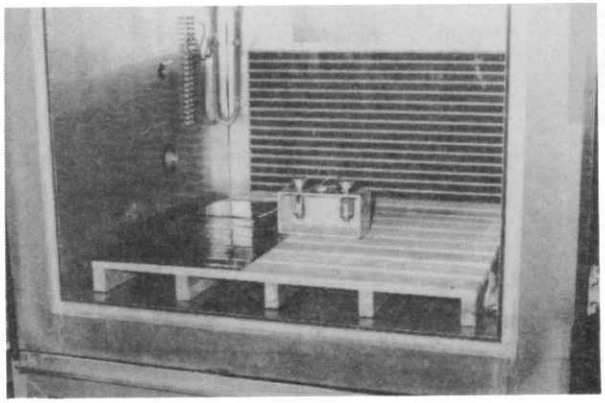


図 3.26　デュアのセッティング状況
Fig. 3.26　Outlook of dewer setting on atmospheric pressure experiment apparatus

4.2　温湿度サイクル試験

2本の検知器（PH1，PH2）の試験結果は3.4.2に示した通りである．これらから，D^*，R，$D^*_{\lambda p}$，$R_{\lambda p}$ および r に性能変化が生ずることがわかり，その性能変化率を表4.1に集約して示す．

	PH 1	PH 2
D^*	+35.6%	−45%
R	−37.3%	−58%
$D^*_{\lambda p}$	+35%	−45%
$R_{\lambda p}$	−43%	−55.8%
r	−8.5%	−5.5%

表 4.1　温湿度サイクル試験による基本性能に対する性能変化率
Table 4.1　Change rates of basic performance of infrared detectors between before and after the damp heat cycle experiment

表4.1から検知器PH1では，D^*および$D^*_{\lambda p}$が増加し，Rおよび$R_{\lambda p}$が低下している．一方検知器PH2では，D^*および$D^*_{\lambda p}$も低下しており，それらの性能変化傾向はPH1と逆である．しかし，PH2のD^*，$D^*_{\lambda p}$の低下率は，R，$R_{\lambda p}$の低下率より小さいところから，D^*，$D^*_{\lambda p}$，Rおよび$R_{\lambda p}$の算出の根拠となる検知器信号出力V_sおよび検知器雑音出力V_nを考察すれば，式（3.1），（3.2）より，D^*，$D^*_{\lambda p} \propto V_s/V_n$，$R$，$R_{\lambda p} \propto V_s$となる関係にあり，従って検知器出力信号$V_s$はPH1，PH2とも低下し，かつ検知器雑音信号$V_n$もPH1，PH2とも低下したことによるものであり，またV_nの低下はPH1に比べPH1の方が大であったことがわかる．

この検知器信号出力の低下傾向は，これまでの実績から検知器のベーキングによる性能変化傾向に類似している．以上から本試験の場合，検知器を非冷却状況で最高60℃の温度環境に長時間置いた結果，ベーキングと同様な作用を検知素子に与えたと判断される．

通常の場合，赤外線検知器は冷却（77K）して使用し，また，保存温度もこのような高温になることは考えられないため，以上のような大幅な性能変化は生じないものと思われる．また，若干の感度変化は，赤外検知器を用いた映像装置の運用実績から，基準黒体を用いた定期温度校正により十分カバーできると思われる．

4.3 振動試験

振動試験は，3.4.3に示したように，振動雑音の測定と耐久性試験を2本のデュア（PH3，PH4）を用いて行った．

振動雑音は，図3.19に示すように，主に振動周期の雑音が本来の雑音に重畳されて現われたが，その増加率はPH3では1.3倍，PH4では1.5倍であった．

装置設計ではこの値を2倍まで許容する設計を行っているため，この程度の雑音増加率は何れの検知器とも装置性能には大きな影響を与えないと考えられる．

また，振動試験による性能変化は表3.8に示されるごとく，測定誤差の範囲とみられ，従って所定の振動に耐え得るものと判断される．

4.4 長期安定性試験

長期安定性試験は，3.4.4に示したように，2本の検知器（PH1，PH2）を用い1000時間以上室温に放置し性能変化を測定した．

結果は表3.9に示したが，各性能項目の変化は測定誤差の範囲と考えられ，従って，室温環境においては長期安定性能は実用上問題ないと思われる．

4.5　衝撃試験

衝撃試験は，3.4.5に示したように，2本のデュア（X−3，X−4）を用いて実施した．

試験結果は，表3.10に示した如く，外観に異常は生ぜず，また暗抵抗，液体窒素保持時間も測定誤差の範囲と考えられる．これらから，デュアのソーク，破損，検知素子の脱落等，構造上の問題はないことがわかった．

以上から，今回採用したデュア構造は，所定の衝撃に十分耐え得るものと判断できる．

4.6　気圧試験

気圧試験は3.4.6に示したように，2本のデュア（X−1，X−2）を用い実施した．

試験結果は表3.11に示したように，外観に異常は生ぜず，また暗抵抗，液体窒素保持時間も測定誤差の範囲と考えられる．これらから，デュアのソーク，破損，検知素子の脱落等，構造上の問題はないことがわかった．

以上から今回採用したデュア構造は，所定の気圧に耐え得るものと判断できる．

5.　ま と め

以上報告したように，火山専用空中赤外映像装置の高温用赤外検知器の設計，試作，試験を行って評価を行い，各種ストレスのシミュレートにより電気性能および機械性能の確認を行った．

その結果，上記検知器の設計および製作プロセスに問題はないことが判明した．

以上から，今回の設計，製作，試験により，火山専用空中赤外映像装置の実機用検知器としての設計，製造技術を確立することができ，所期目的の達成をなし得たと考えられる．

（1984年7月6日　原稿受理）