

JAERI-M
86-072

航空機ガンマ線サーベイシステムの開発・I
—ガンマ線および位置計測機器とデータ処理法—

1986年5月

堤 正博・斎藤 公明・坂本 隆一
長岡 鋭・森内 茂

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）
あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1986

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 日立高速印刷株式会社

航空機ガンマ線サーベイシステムの開発・I
—ガンマ線および位置計測機器とデータ処理法—

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部

堤 正博・斎藤 公明・坂本 隆一
長岡 鋭・森内 茂

(1986年4月10日受理)

原研では、1979年のTMI-II原子炉事故を契機にして1980年よりヘリコプタによる迅速ガンマ線サーベイシステムの開発に着手し、測定機器開発、自然放射線場、人工放射線場における実験、実サイトでの模擬緊急時サーベイ実験を行ってきた。この報告書は当研究で開発した測定システムのハードウェア、ソフトウェアを中心にまとめたもので他の関連報告は既に報告されている。このシステムは、NaI(Tl)検出器を使用したガンマ線測定機器、マイクロ波を利用した位置測距機器、地上におけるデータ処理装置より構成される。放射線測定機器は、外国の地質探査用のシステムを改良して使用している。広範囲の放射線レベルに対応するよう大型検出器DET-1024—4" x 4" x 16" x 4本の集合体—より2" φ x 2" のNaI(Tl)検出器までの各種形状・寸法の検出器を組み合わせ、最大3個まで装備できる。放射線・位置情報は磁気テープに記録され、サーベイ後に地上で処理される。同時に、飛行コース直下の撮像および機内会話は、時刻・位置情報とともにビデオテープに記録される。過去に5回の野外実験を実施し、空中での取得データの評価にかかる基礎データの蓄積および飛行手法の確立を行った。なおコンパクト化、機能向上を計った実用型システムをも整備した。

放射線データとしてスペクトル分布、エネルギーバンド情報のほか、線量率($> 1 \text{ mR/h}$)の直接測定値が得られる。さらに、スペクトル分布からはスペクトル線量変換法により正確な線量率値が計算される。線量換算のための $G(E)$ 関数の数値は表に掲げられている。

取得データの解析処理に関しては、大型計算機、ミニコンピュータのそれぞれについて処理コードを完成した。

Development of Aerial Gamma Radiation Survey System I,
Measuring Instruments of Gamma Radiation and
Position Data, and Data Processing Method

Masahiro TSUTSUMI, Komei SAITO, Ryuichi SAKAMOTO,
Toshi NAGAOKA and Shigeru MORIUCHI
Department of Environmental Safety Research,
Tokai Research Establishment,
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 10, 1986)

With the TMI-2 nuclear accident in 1979, JAERI has started to develop an aerial gamma radiation survey system by a helicopter in 1980. The development of measuring instruments, the experiments in the field of natural and artificial radiation sources, and the imaginary emergency survey at a real site, were executed. This report describes mainly about the hardware and software of this system, and the other related reports have already published. The system consists of gamma-ray measuring instruments with NaI(Tl) scintillation detectors, microwave positioning instruments, and a data processing system for postflight data. A foreign-made geological survey system is improved on for radiation measurements. For covering the wide radiation range, detectors of various shapes and sizes are prepared, from a large volume detector, DET-1024 — four 4" × 4" × 16" crystals assembly — to a 2"φ × 2" NaI(Tl) crystal. Radiation and position data are recorded on a magnetic tape, and computer-processed afterwards. Moreover, scene below flight courses and internal communication are recorded on video tape with the information of clock and position superimposed. In consequence of field experiments carried out five times, basic radiation data for evaluating airborne acquired data are accumulated, and flight survey procedures are established. As more practical use, a system has been produced more compactly and functionally.

Exposure rates (> 1 mR/h), energy distribution spectra, and energy window counts are obtained for radiation data. Using the Spectrum-Dose

Conversion Method, the accurate exposure rates are directly calculated from pulse height spectra. Numerical tables of G(E) function converting pulse height spectra into exposures are shown in this report.

As regards the analysis of survey data, process codes have been completed with either large-computer or mini-computer.

KEYWORDS: ARSAS, CARDiN, Aerial Survey System, Helicopter, NaI(Tl) Scintillation Detector, G(E) Function, Microwave Ranging System, Data Analysis.

目 次

1. 緒 論	1
1.1 航空機サーベイ法の開発の経緯	1
1.2 サーベイシステムの開発に伴い実施したサーベイ実験の概要	2
2. 航空機サーベイシステムの設計および改良点	3
2.1 米国のAMSの概要	3
2.2 原研の航空機サーベイシステムの基本機能	3
3. 航空機サーベイシステム	8
3.1 ヘリコプタ	8
3.2 ガンマ線測定機器	8
3.2.1 使用検出器	9
3.2.2 検出器インターフェース部 (GR-900)	10
3.2.3 マルチチャンネル波高分析器 (GR-800D)	10
3.2.4 データ収録装置 (G-714 及び Kennedy 9800 テープユニット)	11
3.2.5 データ表示確認装置 (G-715)	13
3.2.6 チャートレコーダ (GAR-6S)	13
3.3 位置計測システム	13
3.3.1 マイクロ波測距システム, MRS	14
(1) MRSの原理と構成	14
(2) 電波高度計	15
(3) 気圧高度計	15
(4) MRSの測距距離の校正	15
(5) MRSの使用	15
(6) MRSの誤差評価	16
3.3.2 グラフィックビデオシステム, GVS	17
3.4 サーベイ飛行法の検討	17
3.5 実用サーベイシステムの作製	18
4. 使用NaI(Tl)シンチレーション検出器の特性	46
4.1 DET-1024 検出器の方向依存性実験	46
4.2 DET-1024 検出器の高度減衰特性	47
4.3 使用検出器における線量換算用G(E)関数の決定	49
5. データ処理法	66
5.1 測定データ記録テープ	66
5.2 地上処理装置	66
5.2.1 地上処理装置の構成	66

5.2.2	ディスク・オペレーションシステムと機能	66
5.2.3	地上処理装置を利用した処理	67
5.3	大型計算機を使ったデータ処理	68
6.	結 言	88
	謝 辞	88
	参考文献	89

Contents

1. Introduction	1
1.1 Circumstances of Developing Aerial Survey	1
1.2 Aerial Survey Experiments for Developing JAERI-type System ...	2
2. Design and Improvements of Aerial Survey System	3
2.1 Case of AMS (Aerial Measuring System) of USA	3
2.2 Basic Performance of JAERI-type System, ARSAS	3
3. Aerial Survey System	8
3.1 Helicopter : Bell 206L-1	8
3.2 Gamma Radiation Measuring Instruments	8
3.2.1 Detectors	9
3.2.2 GR-900 : Detector Interface Console	10
3.2.3 GR-800 : Multichannel Gamma Ray Spectrometer	10
3.2.4 G-714 & Kennedy 9800 : Data Acquisition System	11
3.2.5 G-715 : Airborne Data Display/Verification system	13
3.2.6 GAR-6S : Strip Chart Recorder	13
3.3 Positioning Instruments	13
3.3.1 Microwave Ranging System, MRS	14
(1) Principle and Construction of MRS	14
(2) Radar Altimeter	15
(3) Barometric Altimeter	15
(4) Calibration of MRS Ranges	15
(5) Practical Use of Microwave Ranging System	15
(6) Error estimation of Microwave Ranging System	16
3.3.2 Graphic Video System	17
3.4 Survey Flight Modes	17
3.5 Production of Second-generation Practical Survey System	18
4. Characteristics of NaI(Tl) Scintillation Detectors	46
4.1 Directional Response of the DET-1024	46
4.2 Response of the DET-1024 with Height	47
4.3 Determination of G(E) Functions for Commonly-Used Detectors ..	49
5. Data Processing Methods	66
5.1 Magnetic Tape Recorded Survey Data	66
5.2 Minicomputer System	66
5.2.1 Construction	66
5.2.2 Codes System	66
5.3 Largecomputer Analysis Flow Chart	68
6. Conclusion	88
Acknowledgment	88
References	

List of Tables

- Table 2.1 EG&G airborne survey specification, quoted from the reference (1).
- Table 2.2 Improvements for JAERI-type aerial survey system.
- Table 3.1 Specifications and performance for the helicopter used in radiation survey.
- Table 3.2 NaI(Tl) scintillation detectors.
- Table 3.3 Specifications and functions of detector interface unit, GR-900.
- Table 3.4 Specifications and functions of multichannel spectrometer, GR-800D.
- Table 3.5 Specifications and functions of data acquisition system, G-714.
- Table 3.6 Survey data recording format that shows the position of each byte of data and the type of code written on magnetic tape. The number of bytes per scan is 761.
- Table 3.7 G-715 (airborne data display unit) function modes.
- Table 3.8 Chart recorder, GAR-6S specifications.
- Table 3.9 M.R.S. specifications.
- Table 3.10 Radar altimeter specifications.
- Table 4.1 Dimensions of NaI(Tl) detectors for a Monte Carlo calculation.
- Table 4.2 Numerical table of G(E) function for a 3" spherical NaI(Tl) scintillation detector.
- Table 4.3 Numerical table of G(E) function for a 5" spherical NaI(Tl) scintillation detector.
- Table 4.4 Numerical table of G(E) function for a 3"×3" cylindrical NaI(Tl) scintillation detector.
- Table 4.5 Numerical table of G(E) function for a 4"×4" cylindrical NaI(Tl) scintillation detector.
- Table 4.6 Numerical table of G(E) function for a 5"×4" cylindrical NaI(Tl) scintillation detector.
- Table 5.1 Softwares of data processing programs.
- Table 5.2 Windows and window count ratios in window file.
- Table A.1 G-714 keyboard commands.

List of figures

- Fig. 2.1 Functional block diagram of JAERI aerial gamma radiation survey system, ARSAS.
- Fig. 3.1 The Bell 206L-1 helicopter.
- Fig. 3.2 Block diagram of detector interface unit, GR-900.
- Fig. 3.3 Block diagram of multichannel gamma-ray spectrometer, GR-800D.
- Fig. 3.4 Block diagram of data acquisition system, G-714.
- Fig. 3.5 Strip chart output showing the increase of total count, recorded over a 300mCi point source of Cs-137 at 150m height. Window K ranges from 1.37 to 1.56 MeV, U from 1.67 to 1.86 MeV, and Th from 2.41 to 2.80 MeV.
- Fig. 3.6 Positioning system of microwave ranging system.
- Fig. 3.7 Geometry relating the M.R.S. beacon locations.
- Fig. 3.8 Navigation data from M.R.S.
- Fig. 3.9 Systematic range error for M.R.S., quoted from the reference (1).
- Fig. 3.10 Statistical range error with the angle alpha, quoted from the reference (1).
- Fig. 3.11 Helicopter survey lines at Irigo experimental fields.
- Fig. 3.12 Block diagram of VTR system.
- Fig. 3.13 Survey lines plotted manually from scene of VTR system.
- Fig. 3.14 Helicopter trace at the mode of plume chase.
- Fig. 3.15 Helicopter trace at the mode of certifying the amount of Ar-41 gas.
- Fig. 3.16 Helicopter trace at the mode of concentric circular flight.
- Fig. 3.17 Helicopter trace at the mode of scanning.
- Fig. 3.18 Block diagram of practical aerial survey system.
- Fig. 3.19 Block diagram of dose unit.
- Fig. 3.20 Various combinations of units for the simplified model.
- Fig. 4.1 Schematic view of the experimental set-up for the directional response measurements of the DET-1024 detector.

- Fig. 4.2 Three peculiar circumferences for directional sensitivity test of the DET-1024 detector. (A) includes the centers of REAR-, RIGHT-, FRONT- and LEFT- sides. (B) includes the centers of LEFT-, UPPER-, RIGHT- and LOWER- sides. (C) includes the centers of REAR-, UPPER-, FRONT- and LOWER- sides.
- Fig. 4.3 Directional response of the DET-1024 detector normalized at the ratio to the number of incidents into UPPER side having widest surface (Am-241 : Energy = 0.060 MeV).
- Fig. 4.4 Directional response of the DET-1024 detector normalized at the ratio to the number of incidents into UPPER side having widest surface (Cs-137 : Energy = 0.662 MeV).
- Fig. 4.5 Directional response of the DET-1024 detector normalized at the ratio to the number of incidents into UPPER side having widest surface (Co-60 : Energy = 1.332 MeV).
- Fig. 4.6 Calculation model that approximates the DET-1024 detector. (left) Real shape of the DET-1024 detector, (right) Substituted detector model. Volume (1,024 inch³) and height (4 in.) are the same.
- Fig. 4.7 Variation of total count rate with height (a) above extended source field, and (b) at Irigo farmland in Aichi prefecture. Both aerial gamma-ray fields and detector response are simulated with a Monte Carlo method.
- Fig. 4.8 Variation of absorption energy with height (a) above extended source field, and (b) at Irigo farmland in Aichi prefecture. Both aerial gamma-ray fields and detector response are simulated with a Monte Carlo method.
- Fig. 4.9 Variation of the ratio of exposure rate to total counts with height (a) above extended source field, and (b) at Irigo farmland in Aichi prefecture. Both aerial gamma-ray fields and detector response are simulated with a Monte Carlo method.
- Fig. 4.10 Variation of the ratio of exposure rate to absorption energy with height (a) above extended source field, and (b) at Irigo farmland in Aichi prefecture. Both aerial gamma-ray fields and detector response are simulated with a Monte Carlo method.

- Fig. 4.11 Variation of the ratio of incident flux to total counts with height (a) above extended source field, and (b) at Irigo farmland in Aichi prefecture. Both aerial gamma-ray fields and detector response are simulated with a Monte Carlo method.
- Fig. 4.12 Variation of the ratio of incident flux to absorption energy with height (a) above extended source field, and (b) at Irigo farmland in Aichi prefecture. Both aerial gamma-ray fields and detector response are simulated with a Monte Carlo method.
- Fig. 4.13 $G(E)$ functions for commonly-used detectors calculated from responses on a Monte Carlo calculation. Dashed lines indicates spherical types, real lines cylindrical types.
- Fig. 5.1 Functional block diagram of data processing mini-computer system.
- Fig. 5.2 Mini-computer program summary.
- Fig. 5.3 Sample output of BINDMP.
- Fig. 5.4 Sample output of PASSIN.
- Fig. 5.5 Sample output of DISPL1.
- Fig. 5.6 Sample output of TABLAT.
- Fig. 5.7 Sample output of SHIFTR.
- Fig. 5.8 Flow chart of analysis with a large scale computer.
- Fig. 5.9 Average energy spectrum over the fiducial interval.
- Fig. 5.10 Three-dimensional display of spectra.
- Fig. 5.11 Variations of continuous recording data of exposure rate and flight height.
- Fig. 5.12 Variation of window count rates.
- Fig. 5.13 Frequency histogram of absorbed energy.
- Fig. 5.14 Correlation between the exposure rates and the counts of window 10(1.35-3.0MeV) of the DET-1024 detector.
- Fig. 5.15 Helicopter trace map adding exposure rate values.
- Fig. 5.16 Radiation isopleth map over a 300mCi Cs-137 point source at the height of 150m.

List of Photographs

- Photo 2.1 Helicopter, Internal View
Looking Forward
- Photo 2.2 Helicopter, Internal View
Looking Afterward
- Photo 3.1 The Bell 206L-1 helicopter equipped with a large volume gamma detector.
- Photo 3.2 The internal view of helicopter arranged with survey instrument systems.
- Photo 3.3 The sodium iodide detector providing 1024 cu. in. of active volume. This is attached to the outside of the helicopter fuselage. Visible cables are used for high voltage supply, heater power and preamplifier signals.
- Photo 3.4 Detector fixed easily in a bag under the helicopter fuselage. The DET-1024 detector is set on a rear detector rack.
- Photo 3.5 Energy spectrum on the CRT display in the spectrum/header mode.
- Photo 3.6 M.R.S. antenna on the helicopter.
- Photo 3.7 Arrangement of antennas for positioning.
- Photo 3.8 Scene on the CRT monitor from graphic video system.
- Photo 4.1 Picture showing the experimental set-up for the directional response of the DET-1024 detector.
- Photo 5.1 Mini-computer data processing system.

1. 緒 論

航空機迅速ガンマ線サーベイシステム、ARSAS (Aerial Radiological Survey and Assessment System) の開発は、昭和55年度より原子力安全委員会の「環境放射能安全研究年次計画」に沿って整備検討を重ねてきた。航空機サーベイは、環境放射線の特性をつかみ、原子力施設の事故時における施設起因の放射性物質による周辺の線量率分布を迅速に測定、評価し、防災対策に役立てるシステムの確立を目標に出発した。

開発経過の中で、初期において既存のGeoMetrics社製の地質探査用システムをベースにした研究用システムと、更にこれを発展させた実用型システムとの2つのシステムを整備した。実用型システムとしては、高線量率にも対応でき、また原研内で製作した線量換算ユニットを加え、より高性能かつコンパクトにまとめたものを製作した。

昭和56年度より実飛行試験を行い、自然または人工ガンマ線源を対象とした基礎特性実験、緊急時を模擬した実サイト周辺での飛行実験を5回実施した。現在、6ヶ年計画の最終年度を終え、開発は成功裡に終了した。本報告では、現在までに整備してきた両システムを構成する装置について、また取得データの評価に係る基礎となるデータ、データ処理過程等について紹介する。

1.1 航空機サーベイ法の開発の経緯

1979年3月28日の米国スリーマイル島-2号原子炉(TMI-Unit 2)の事故以来、原子炉事故時に大気中に放出される放射性物質の挙動を正確に把握することの重要性が、防災対策実施上一層強く認識されてきた。非定常の放射性プルームの追跡、沈着による地表面汚染状況の把握には、航空機を使った迅速かつ広域にサーベイすることが極めて有効である。日本には完成した航空機サーベイシステムがなく、原研ではヘリコプタに搭載した放射線測定機器システム、および取得データの解析処理を行うミニコンピュータのシステムを整備してきた。

航空機サーベイは、米国では早くから行われ、1960年よりAMS (Aerial Measuring System) 計画の下にEG&G社が実際の調査業務を実施しており、豊富なサーベイ実績をもち、主要原子力施設周辺の線量率マップの作成や地質探査等に関する多くの報告がある。^{1), 2)}

当研究開発計画に着手するに当たり、文献調査、海外調査を行い、独自のシステム開発を進めてきた。本テーマは昭和55年度より始まり、研究用システムは昭和56年度に、実用型システムは昭和59年度に製作し、実際に航空機に搭載した飛行実験を5回実施した。

開発されたシステムは、緊急時に限らず、自然放射線の国民線量評価、ウラン鉱脈等の地質探査、活断層の調査など広い応用が期待できることも念頭におかれた。

1.2 サーベイシステムの開発に伴い実施したサーベイ実験の概要

サーベイシステムの試験および調整，飛行サーベイ経験の蓄積，基礎的放射線データの蓄積を行うために，56年度より飛行実験を実施してきた。以下に，年度別の飛行サーベイの実験題目を示し，その概要を述べる。

(1) 56年度：名古屋周辺の平坦地形における自然放射線を対象とした野外実験

平坦地の定点において，地殻ガンマ線等の高度別応答特性試験を高度20～500m間で測定した。また高度4000mまでの宇宙線測定，伊勢湾上における大気中のラドンのバックグラウンド寄与の測定，主要道路上空での広域コース測定を行い，自然放射線評価上の基礎データを得た。³⁾

(2) 57年度：栃木県渡良瀬遊水池における人工ガンマ線源を用いた野外実験

^{137}Cs (100m Ci, 300m Ci)， ^{60}Co (100m Ci, 400m Ci)のガンマ線点線源を用いて，高度別応答特性試験を線量レベルにあった各種形状検出器の組み合わせを考慮して行い，平坦地におけるガンマ線の空間挙動分布を明らかにした。⁴⁾

(3) 58年度：東海村の実原子力サイト周辺における施設起因の ^{41}Ar を対象とした野外実験

ガス冷却炉から放出される ^{41}Ar を対象としたプルーム追跡飛行試験，放出量推定の飛行試験，原子炉を中心とした同心円飛行によるプルームの流れ方向検知の飛行試験等の緊急時を想定した飛行法の検証，およびバックグラウンドの等線量値線マップを作成するための1km間隔のライン飛行を行った。

(4) 59年度：福井県の実原子力サイト周辺の複雑地形における野外実験

複雑地形に立地した原子力サイトにおけるサーベイ法の検討を行った。複雑地形では，位置情報を得る航法装置が十分に使用できないため，航法装置を使用しない飛行方法検討として，道路等の目標物沿いの飛行，山脈の尾根伝い飛行等の検証を行った。

(5) 60年度：研究用システムと実用型システムの比較測定および東海村における実用型システムによるサーベイ実験

知多半島の同一コース上で両システムを用いて測定を行った。両システムの実験データを入手し相互比較のデータとする。また，実用システムを用いて東海村原子力サイト周辺のサーベイを実施した。

上記の飛行サーベイと並行して，環境サーベイ車による飛行航路直下のサーベイおよび各地点における土壌採取による土壌中の核種分析を行っている。

これらの実験により得られたデータは，別文献において理論計算との詳細な比較検討がなされている。⁵⁾

2. 航空機サーベイシステムの設計および改良点

2.1 米国のAMSの概略

日本国内では、まだ経験の浅い航空機によるガンマ線サーベイの開発にあたり諸外国の実例調査を行った。とりわけ米国では1956年頃より放射性物質鉍脈の探査を目的とした航空機サーベイの経験をもち、また先に述べたAMSにおいては、米国内の数百にのぼる原子力施設周辺を含めた地域サーベイを実施しており、これらに関する報告は参考となった。米国のAMSは1960年よりDOE(the U. S. Department of Energy)のRemote Sensing Laboratoryにより維持され、EG&G社のグループが実地サーベイにあたっている。

AMSは、原子力施設周辺の放射線調査のみならず、地球物理探査等のサーベイシステムを備えている。ソ連の墜落COSMOS衛星の探査⁶⁾、喪失RI物質探査⁷⁾等の緊急時の出動の実績をもつ。

Table 2.1にAMSの航空機サーベイ実施仕様¹⁾を示す。装置としては、放射線測定装置、航法装置、電波高度計、気象観測機器、多重スペクトルカメラ、赤外線スキャナ、カメラ等を装備し、目的によりエアサンプラ、磁力計、各種センサを装着している。航空機としては、固定翼機と回転翼機であるヘリコプタとの両方を備えている。原子力施設等の広大な敷地周辺のルーチン的なサーベイには固定翼機、やや低レベルの放射線場や緊急時のサイト周辺のサーベイにはヘリコプタを使用している。またデータ解析には、REDAC(Radiation and Environmental Data Analyzer and Computer)と呼ばれるシステムをもち、各種ソフトウェアを揃え、サイトの写真上にガンマ線線量率等の等値線マッピングができる。¹⁾

以上の例等により検討を重ね、我が国の実状にあわせて、本研究目的にあったシステムの整備を進めた。

2.2 原研の航空機サーベイシステムの基本機能

米国と異なり、狭い国土、複雑な地形をもつ日本ではヘリコプタの使用が適している。近年エレクトロニクスのめざましい発達により、各種機器も小型かつ性能が優れたものが揃ってきたが、国内の製造会社には需要の面から航空機サーベイ用測定機器の製造経験が乏しいため、本システムの搭載機器として米国の地質探査用のものを使用目的に合うよう改良して使用することとした。

あらかじめ考えた必要要件として、広範囲の放射線レベルに対応するように2系統の放射線スペクトルが得られること、各機器は小型軽量で、安定性に優れ、航空機仕様の28Vdcの電源で作動し、低消費電力であること、放射線データの取り込みによる欠測時間がないこと、多量のデータを取り込むため磁気テープに高速で転送記録ができること等を考慮した。測定記録データは、2つのガンマ線エネルギースペクトル、トータルカウント、K α 、U α 、Th α -ウィン

ドウ・カウント，宇宙線カウント，時刻，位置情報等である。

サーベイ仕様のヘリコプタ内部の状況を Photo 2.1 と Photo 2.2 に示す。Fig. 2.1 に全体システムのブロック図を示す。全体システムは，ガンマ線計測部と位置計測部に大別される。

検出器からの 2 系統の放射線データは，波高分析器よりチャートレコーダ，スペクトル確認装置，およびデータ収録装置に出力され，データ収録装置では位置情報とともに磁気テープに 1 秒毎に記録される。MRS (Microwave Ranging System) と電波高度計からの位置情報は，磁気テープに記録されるとともに飛行直下の映像を記録するビデオシステムにおいて重ね書きされ，サーベイ後の航跡の標定に用いられる。各部の詳細については，後述する。

地質探査用の測定システムを利用しているため，各部で改良を加え，性能・特性の向上を計った。ガンマ線エネルギーの範囲が本来 200~400 keV 位だったものを 40 keV まで引き下げた。低エネルギー部でのディスクリミネーション・レベルに伴うノイズによる異常動作の発生をなくすために ADC (Analog to Digital Converter) の改良を行った。また検出感度の異なる検出器を同時に使用することにより， $1 \mu R/h$ 以下から $1 R/h$ の放射線の強度範囲に適用できるようにした。

原研では，研究用システムの使用経験に基づいて 59 年度から実用型システムの設計・製作を進めてきた。これにおいては，3 系統の検出器（それぞれ高・中・低レベルの放射線場に対応）を使用し，線量率の拡大を計ったこと（バックグラウンドレベルから $1 R/h$ 以上まで），汎用型の検出器には温度補償回路を組み込んだものを使用することなど機能向上を計った。また外国のシステムではみられない日本独自の方式による線量ユニットを併置して，測定時に計数率および線量率が直読できるようにした。このシステムでは，各ユニットが小型にまとめられ，必要最小のユニットを選ぶことにより，非常に小型のシステムとしてまとめられる。また，より大きな中型のヘリコプタを使うことによりヘリコプタへの搭載の時間も短縮することができる。

改良点を Table 2.2 に示す。実用型システムの詳細は 2.7 で述べる。

Table 2.1 EG&G airborne survey specification, quoted from the reference(1).

	Airplanes			Helicopter
	A-100	Twin Bonanza	Martin 404	
Number of engines	2	2	2	1
Cabin pressurization	yes	no	yes	no
Maximum altitude	25,000 ft	22,000 ft	25,000 ft	15,000 ft
Range	1,200 mi	600 mi	1,400 mi	275 mi
Endurance	5-1/4 hr	4 hr	7 hr	3 hr
Cruising Speed	230 kts	150 kts	200 kts	110 kts
Minimum survey speed	120 kts	120 kts	120 kts	0 kts
Available equipment payload with a minimum of 3-hour fuel	600 lbs	600 lbs	3,500 lbs	---
Minimum flight crew	Pilot, Navigator, Instr. Operator	Pilot, Navigator, Instr. Operator	Pilot, Navigator, Co-Pilot, Instr. Operator	Pilot, Instr. Operator
Navigation and position determination	MRS, INU	Doppler radar, INU	Doppler radar, INU, MRS	MRS
Radar altimeter	yes	yes	yes	yes
Communications system	VHF, HF	VHF, HF	VHF, HF	VHF
Meteorological Sensors	Absolute pressure Temperature Dew point Turbulence* True air speed Wind speed & direction Pressure altitude	Pressure altitude Absolute pressure Temperature Wind speed & direction	Pressure altitude Absolute pressure Dew point Turbulence True air speed Wind speed & direction	Pressure altitude
Radiation detectors	28 4x4" NaI(Tl)	8 6x6" NaI(Tl)	Various	20 5x2" NaI(Tl)
Air sampler	Particulate (isokinetic)* Whole gas*	Particulate	Particulate	---
Photographic equipment	4-camera Hasselblad RC-8 WKD 9x9" aerial photogrammetric system	4-camera Hasselblad	4-camera Hasselblad	4-camera Hasselblad*
Thermal mapping equipment	Bendix IR scanner (LN-3)	Bendix IR scanner (LN-3)	Bendix IR scanner (LN-3)	---

*To be installed.

Table 2.2 Improvements for JAERI-type aerial survey system

(A) Prototype system (for basic study)

Improved respects on GeoMetrics' geological survey system are as follows:

- (1) addition of spherical NaI(Tl) detectors which have a flat angular response.
- (2) extension of the lower energy region from 400 keV to 40 keV.
- (3) modification of a spectral record format into where each channel accumulator is two 8-bits bytes at high energies.
- (4) intake of BCD data for location information.

(B) Second-generation system (for practical usage)

- (1) production of the dose unit that calculates and displays the exposure rate momentarily.
- (2) intake of more BCD characters of exposure rate, flux, and two 256 channels spectra.
- (3) production of three racks for the survey system with handles and hooks in order to be easily equipped on a helicopter.

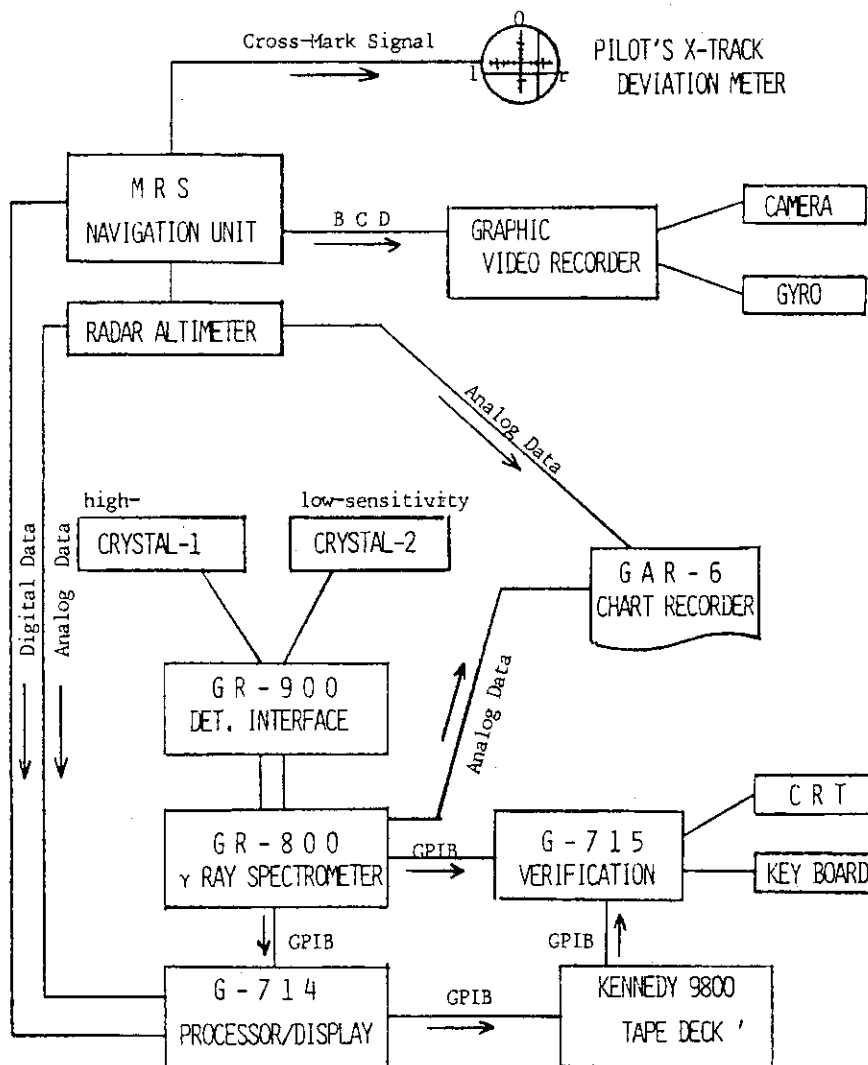


Fig. 2.1 Functional block diagram of JAERI aerial gamma radiation survey system, ARSAS.

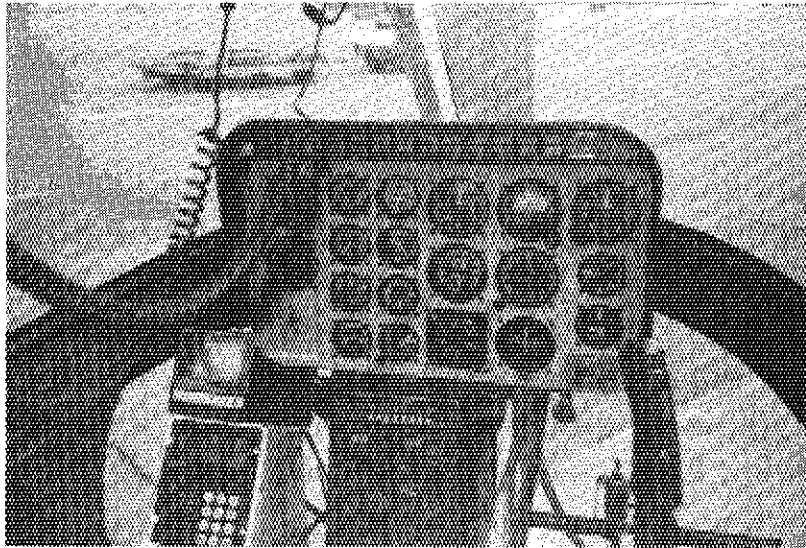


Photo 2.1 Helicopter, Internal View
Looking Forward

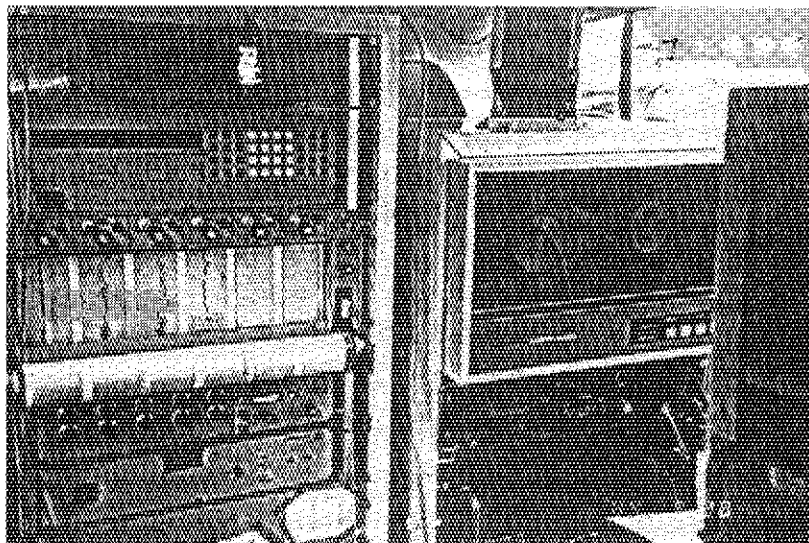


Photo 2.2 Helicopter, Internal View
Looking Afterward

3. 航空機サーベイシステム

3.1 ヘリコプタ

ヘリコプタには、小型のベル206 L-1 ロングレンジャー（中日本航空機所有：JA9289）を使用している。使用機種の写真をPhoto 3.1に示す。またヘリコプタの外観寸法等をFig.3.1に示す。本来このヘリコプタはパイロットの他に乗客6人が乗れる機種であるが、ガンマ線・位置計測機器等を搭載するために、4名分の後部座席を取り外し、機器を装着するラックの設置等の改良を行った。改良後の後部座席への機器搭載状況をPhoto 3.2に示す。

現在のシステムでは、機器に場所を取られたため、サーベイはパイロット、ナビゲータ、測定装置のオペレータの3人により行われる。ナビゲータはパイロットへのコースの指示、危険な障害物等の状況の監視、またサーベイ状況の記録を行う役目を負う。オペレータは、機器の正常動作を確認し、取得データにチェック・マークを入れたり、飛行に必要な放射線情報等をナビゲータに与える。

ヘリコプタのサーベイ仕様をTable 3.1に示す。航空機としてヘリコプタを使用することの利点は、固定翼機と比較して、以下のことが挙げられる。高度500m以下での低空の飛行が可能のため、分解能のより高い放射線場の測定ができる。飛行高度はかなり自由に選択でき、最高時速200 km/hから最低はホバリング（空中停止）をも可能なため、必要に応じてサーベイの密度を変えることができる。滑走なしに垂直に上昇離陸できるため、サーベイ地域の近くにヘリポートを設置できる。また機動性にすぐれ小回りが利くために、複雑な飛行モードにも十分対応できる。

欠点としては、積載量が小さい、航続時間が短い点があげられる。さらにサーベイにおける性能とは別に、ロータによる騒音等の周辺への影響も、速度が遅いために無視できない。しかし、これらの欠点を考慮しても、ヘリコプタの有用性は見過ごせない。

3.2 ガンマ線測定機器

ガンマ線測定装置は、上述のように地質探査に開発された米国のシステムを高レベル放射線測定にも適用し得るように改良を加え使用している。構成は前出のFig. 2.1に示されている。ガンマ線検出系は、2系統の波高分析の能力を備え、種々の大きさのNaI(Tl)検出器2個の組み合わせにより、同時に放射線レベルの広い範囲にわたる測定ができる。また汎用型の形状・寸法の検出器との比較測定等、目的に応じて検出器の特徴を活かした組み合わせも考えられる。標準として、感度の方向依存性が平坦な球形検出器と、効率を大きくとった体積の大きい検出器を使用する。

ガンマ線測定部の本体は、機能毎に各ユニットに分かれ、それぞれは標準的な19インチ幅のラック1個に収納されている。

測定により得られるガンマ線のエネルギースペクトル、ウィンドウ情報等の放射線データは、時刻、位置情報とともに、磁気テープに記録される。またサーベイ中は、キーボードの操作によりガンマ線エネルギースペクトルをCRT (Cathode Ray Tube) 上で観測でき、スペクトル中の特定のウィンドウ値、飛行高度の推移はチャート紙に連続記録される。

3.2.1 使用検出器

航空機に搭載するガンマ線検出器には、NaI (TI) シンチレーション検出器を使用する。検出器は各種・寸法の形状のものを、対象とする放射線場の線量レベルにより使い分けている。大別すると、航空機搭載用として米国 GeoMetrics 社で開発されたものと、国産の各種汎用型検出器である。各種検出器の一覧を Table 3.2 に示す。

米国製の検出器では、DET-1024 (16" x 16" x 4") 検出器、DET-21 (3"φ x 3") 検出器の2種を現在使用している。DET-1024 検出器は、低線量率用の大型検出器で、Photo 3.3 のように、ヘリコプタの機体下部に取り付けた台座に固定されている。結晶部は、4" x 4" x 16" の角柱形4本よりなる集合体で、有感体積1024立方インチ(16.8ℓ)をもつ。放射線との相互作用によるシンチレーション光は、結晶体毎に取り付けた光電子増倍管により集められ増幅される。DET-21 検出器は、3" φ x 3" の円柱形検出器で、21立方インチの有感体積をもつ。NaIの結晶は熱的、機械的衝撃に対して幾分脆いために、パッケージの配慮がなされており、緩衝台で全方向に10Gの負荷に耐えるよう設計がなされている。さらに外気の温度変動による光電子増倍管の利得等の変化を低減するために、ヒーターエレメントが結晶の周囲に均等に配置されており、外気温により任意に選択でき20°C ~ 60°C の範囲内で検出器の温度を一定に保つことができる。

大型検出器の利点は、検出効率が高いために低レベルの放射線場でも短時間で高精度測定ができる他、高いピーク効率を得ることができ、コンプトン成分を減じたガンマ線エネルギースペクトルにちかい応答を得ることができることである。

一方、各種形状の国産NaI (TI) シンチレータとして、3"φ、5"φの球形検出器と、3"φ x 3"、4"φ x 4"、5"φ x 4"、の円柱形検出器を揃えた。国産検出器を、ヘリコプタに搭載した状況をPhoto 3.4に示す。体積の小さい検出器はやや高いレベルの放射線場の測定に使用する。球形検出器は平坦な方向特性をもち、環境における放射線の測定に適したものである。4"φ x 4" の検出器は、米国AMSで使用されているものでAMSとのデータ比較用として整備した。

各検出器は前置増幅器を付随しており、前置増幅器からの放射線の出力パルスは、GR-900の整形増幅器へ送られる。

検出器を据え付ける際は、ヘリコプタの構造材による遮蔽の影響を避けるよう吟味し、ヘリコプタの機体下部へ取り付けた。また電波高度計、MRSからのノイズにも注意を払い、距離をとっている。DET-1024 検出器は、直接日光の影響を避けるために反射率の高いAl箔で覆った。

ヘリコプタが大きなバックグラウンドとなる放射線源にならないよう、蛍光塗料を塗った時計等の持ち込みを禁じ、地表の影響の少ない高空または水面上で、バックグラウンドの確認を行っている。

サーベイ密度の一つの指標である結晶体積と航行速度の比は、DET-1024 検出器を使用し

た場合では $210\text{cm}^3 / \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ である。ここで航行速度は、サーベイ標準巡航速度である $80\text{ km} / \text{h}$ とした。

3.2.2 検出器インターフェース部 (GR-900)

GR-900は、検出器にバイアス電圧およびヒータ電源を供給し、また検出器からの前置増幅器出力信号を整形増幅したのち、マルチチャンネル波高分析 (GR-800D) へ出力する装置である。主な機能、仕様を Table 3.3 に示す。

GR-900は、Fig. 3.2 に示すように、高圧供給部、ゲイン調整部、ヒータ電源部、パルス整形増幅部の主要部分で構成されている。

高圧供給部は、各種検出器の光電子増倍管のカソード電極へ 1400 Vdc の電圧を供給する。ゲイン調整部は、光電子増倍管のカソード電極に $0 \sim 400\text{ Vdc}$ 範囲内の可変電圧を供給し、ガンマ線によるパルス波高のゲインを調整する。ゲインの調整には、 ^{137}Cs (0.662 MeV) と ^{208}Tl (2.62 MeV) のチェック線源を使用する。その際の波高ピークと設定チャンネルとの合致は、GR-800D の表示窓で確認され、 ^{137}Cs と ^{208}Tl のそれぞれのピーク部分のカウント数およびピーク部分の下部と上部のカウントの比を表示する。その比を 1.0 に合わせることで、GR-900 のゲインの調整を行う。

ヒータ電源部は、外気温の異なる雰囲気中でのゲインの変動をおさえるため、検出器のまわりの電熱線を温め一定温度に保つ。温度コントロール範囲は $20^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ で、 10°C きざみで設定できる。検出器の温度は前面パネルの計器で見ることができる。外的要因により検出器の温度が 65°C を越えるとカットオフ回路が作動し検出器を保護するが、 55°C 以上に温度を上げないほうが良い。検出器の温度を上げる時は、 $10^\circ\text{C} / \text{h}$ 以下の割合で上げる。ヒータを入れる時は、直射日光や暖房の熱風の出口等、急激な温度変化が予想される場所を避け、結晶の破壊を防ぐよう注意しなければならない。検出器を冷やす時にも同様の注意が必要である。測定の予定があるときは、前日の晩からヒータを入れておく。ヒータ温度は予想されるその日の最高気温に設定しておくのが望ましい。

パルス整形増幅部は、検出器の前置増幅器出力の放射線パルスを整形増幅して GR-800D へ出力する。DET-1024 検出器のように複数個の光電子増倍管をもった検出器の場合には、各光電子増倍管からのパルス信号は合成して整形増幅され、1 本のアナログパルス信号として GR-800D へ出力される。

3.2.3 マルチチャンネル波高分析器 (GR-800D)

GR-800Dは、検出器からの放射線パルスを波高弁別し、エネルギースペクトルを得る装置である。また、外部インターフェースを介して、データ収録装置、チャートレコーダへのスペクトル情報等の転送を行う。主な機能、仕様を Table 3.4 に、GR-800D のブロック図を Fig. 3.3 に示す。

検出器からの GR-800D への入力パルスは、検出したガンマ線エネルギーに比例した増幅パルスである。パルス入力を 2 系統もち、それぞれを UP、DOWN とよぶ。本来の仕様では、UP の検出器は、バックグラウンドとなるラドンに寄与を差し引くための検出器として使用す

る。UP, DOWNの検出器を鉛の遮蔽板で仕切って上下に重ねて測定することにより, UPの検出器はDOWNの検出器と鉛板により下方向から入射するガンマ線に対して不感となり, ラドンと宇宙線による寄与のみを測ることができる。ここでは, DOWNを低レベル検出器, UPを中レベル検出器の信号の記録にあてている。

これら2系統のアナログ波高パルスは, ADCを通り, DOWNの検出器の信号は8ビットの2進数に変換され, 256のエネルギー領域のチャンネルに分配される。UPの検出器の場合は, 記録レコード長の不足から64チャンネルに分配される。各放射線エネルギースペクトルは, 一旦バッファに蓄積され, 1秒後に掃き出される。測定時間の設定は, 0.1~9.9秒の間で可変でここでは1.0秒に設定している。

マイクロプロセッサにより, K, U, Th, トータルカウント等のウィンドウ値がLED(Light Emitting Diode)で前面パネルに表示され, 1秒毎の放射線データは, データ収録装置(G-714)とスペクトル表示確認装置(G-715)へ掃き出される。またウィンドウ値はDAC(Digital to Analog Converter)を通り, アナログ信号でチャートレコーダ(GAR-6S)へ送られる。G-714およびG-715へのデータの転送はGPIB(General Purpose Interface Bus)により高速で行われる。この時の転送フォーマットは, EPROM(Erasable Programable Read Only Memory)に書き込まれている。放射線パルスは2個のバッファに交互に蓄積されるために, スペクトルの掃き出し中による測定時間の欠測がない。ウィンドウ値等のBCD(Binary Coded Decimal)出力は, DOWNの検出器についてはADCの不感時間の補正が行われ, またストリッピングの処理が行える機能をもつ。

前面パネルにおいては, ゲインの調整時の表示, 測定時のウィンドウ値の表示の他, スペクトラル・プロットの機能をもつ。これは1chから256chのガンマ線計数値を順次に前面パネルに表示する機能で, これによりチャートレコーダにスペクトルを書き出すこともできる。

ADCでは, ガンマ線エネルギー0~3 MeVの範囲でスペクトルをとるよう調整し, 低エネルギー側のしきい値は約40 keVに設定して使用する。本来の仕様では, しきいエネルギーを200~400 keVという比較的高いレベルで設定使用するものであったため, 当初しきい値を下げて使用したことにより動作不良の現象の発生をみたが, 後にADCを改良したことによりこの問題は解消された。さらに宇宙線の寄与評価のために, 3~6 MeVのパルスは, DOWNの検出器においては最終チャンネルに積算される。なおADCのパルス処理にかかる不感時間は5 μ sである。

3.2.4 データ収録装置(G-714及びKennedy 9800テープユニット)

データ収録装置は, G-714と磁気テープデッキKennedy 9800より構成される。G-714の役割は, 後の電算機を使ったデータ処理に適した書式で磁気テープにデータを転送し記録することである。G-714の機能および仕様をTable 3.5にブロック図をFig. 3.4に示す。

GR-800Dからの放射線スペクトル情報は, 位置計測機器からの気圧高度計・電波高度計のアナログ値とMRSからの距離, 高度のデジタル値とともにCPU1を通り, バッファに

格納される。その際、キーボードからの入力データである、時刻、フィデューシャル番号^{注1)}、ヘッダーが付加される。バッファにこれらのデータ4測定分が溜まると、CPU 2はデータのフォーマットを行い、RAM(Random Access Memory)へ格納したのち、磁気テープ装置のインターフェースを介して、磁気テープに記録される。

飛行コースの変更、任意のポイント通過時等によりフィデューシャル番号を増すときには、外部のフィデューシャルボタンを押すことによりトリガが入力され、内部CPUでフィデューシャルカウンタが1つ加算される。G-714内部のシステムクロックは内部のCPU 1へ、また同時に外部機器MRS装置等と同期をとるために、1秒毎のクロックパルスを出す。フロントパネルには16文字までLEDで、時刻、フィデューシャル番号、ヘッダを表示できる。プログラムメモリーには、データスキャンやテープ記録のフォーマットに関するプログラムが入っている。

スキャンデータは、ASCII^{注2)}とEBCDIC^{注3)}のコードで書かれ、時刻、ヘッダー、フィデューシャル番号、位置情報等はASCIIで、ガンマ線パルス波高スペクトル等の放射線データはEBCDICコードで書かれる。磁気テープの有効利用のため4測定分を1レコードにまとめて記録する。1レコード長は、3044バイトである。

磁気テープへの記録データフォーマットをTable 3.6に示す。また、使われるG-714のキーボードのコマンド集をAppendixのTable A.1にまとめた。

次に磁気テープ装置について述べる。磁気テープ装置には、米国Kennedy社のモデル9800を使用している。Kennedy 9800は高信頼度を誇るデジタルテープ磁気装置で、IBMと互換可能な9トラック、800BPI(Bytes per inch)の記録密度でNRZI^{注4)}方式で記録する。1200ft長までの磁気テープリールが使用できる。記録磁気テープは、原研の計算センタで使用しているFACOM M-380とも互換可で、のちの複雑な演算処理を大型計算機を用いて実行することもできる。

1200ft長のテープ使用時における現フォーマットでの使用限度時間を考える。1レコードに要する長さは、

$$3044 \text{ bytes} / 800 \text{ BPI} + 0.6 \text{ inches} = 4.4 \text{ inches}$$

ここで、0.6 inchesはレコードギャップ長である。1レコードは4秒間の測定データに相当するから、

$$4 \text{ sec} \times 1200 \text{ ft} \times 12 \text{ inches} / \text{ft} / 4.4 \text{ inches} = 3 \text{ h } 30 \text{ m}$$

したがって、1本のリールには約3時間30分のデータが記録できる。通常の1フライト時間は2時間前後であるから、充分の余裕をもつ。

注1) Fiducial No ; 1測定を任意の数に分割する際の目印となる数

注2) American national Standard Code for Information Interchange

注3) Extended Binary Coded Decimal Interchange Code

注4) non-return-to-zero inverted recording

3.2.5 データ表示確認装置 (G-715)

測定中の放射線データの表示, および記録確認装置は, Apple社のコンピュータを基にしたG-715とグラフィックCRT, コマンド入力端末であるキーボードより構成される。

現在整備されているコードでの3モードについて, Table 3.7に示す。

1. SPEC モード

磁気テープ装置の動作に関係なく, GR-800Dからの直接入力で行うことができ, ガンマ線スペクトルのみが表示される。測定前の作動チェック, ゲイン設定時に使用される。

2. S/H モード

磁気テープ装置の記録データによる入力で作動し, ガンマ線スペクトルと時刻等のヘッダーの両方を表示する。サーベイの実際時に有用である。

3. HDR モード

1秒スキャンデータの先頭のASCIIで書かれた部分の関心領域を引き出し, 文字のみの表示をみることができる。

実サーベイ時で使用されるS/HモードのCRT表示例をPhoto 3.5に示す。ガンマ線スペクトルの積算時間, ウィンドウの計数, 縦軸のスケール等は自由に設定できる。

3.2.6 チャートレコーダ (GAR-6S)

アナログチャートレコーダであるGAR-6Sは, GR-800DからのK-, U-, Th-ウィンドウ計数値, 全計数値のアナログ値と, 気圧高度計, 電波高度計の合計6チャンネルの変動をトレースすることができる。ゼロ点の調整, フルスケールの設定は, GR-800Dのスイッチボードにより行われる。

GAR-6Sの仕様, チャンネルの割り当て, 通常サーベイにおけるフルスケールの設定値をTable 3.8に示す。

各チャンネルの入力電圧に比例して, 感熱紙に青色のトレースで記録される。6チャンネルの他にチャートの両側にはチェック用のペンをもつ。チャート紙の右側のペンは, 紙送り速度を表わす一定時間きざみを記録する。左側のペンでは, フィデュシャルの変更時等の目印として, 任意の目印マークを入れることができる。

チャートの出力をFig 3.5に, 渡良瀬における線源実験を例にとって示す。

3.3 位置計測システム

放射線測定を正確に行うことの他に, この取得した放射線データの測定位置を正確に対応づけることが重要である。ヘリコプタを使ったサーベイでは, 移動速度が速いうえに, 空間的に自由な航路を採れるなどの理由から, 位置の決定は容易ではない。本サーベイでは, 航法装置としてマイクロ波を使ったMRSを使用している。MRSにより取得した位置情報は, のちに演算処理をへて位置決めに使われる。また同時にグラフィックビデオシステム (GVS) を併用し, 飛行コース下の対地撮影を行い, サーベイ位置の標定時の一助として使われる。

その他の航法装置には, INS (慣性航法システム; Inertial Navigation System), ADF

(自動方向探知機), VOR (VHF自動方向探知機; VHF Omni-directional Range), DME (Distance Measuring Equipment), ドップラーレーダを用いたシステム, ロラン-C, オメガ等があり, 一般に使用されている。これらの大部分は, 定期便の大型航空機に使われる大がかりなシステムである。本サーベイにおいては, 比較的狭い地域を対象に, 精度のより高い位置計測が要求される。各航法装置ともそれぞれ一長一短があるが, MRSは他に比べて測距精度が非常に高いという理由からこれを選定した。なおこの短所としては, マイクロ波の性質よりサーベイ域の視野が広くて見通しが利く必要性があるため, 見通しの悪い地域の飛行では, 欠測が生じて位置の標定が機械的に処理できないこと, またプログラムを組んだ飛行コースに沿っての計器飛行が不能となる点などが挙げられる。

3.3.1 マイクロ波測距システム, MRS

(1) MRSの原理と構成

MRSは, 事前に設定した航路に沿って飛行するためのナビゲーションデータをパイロットに提供するため, 航空機と地上ビーコン局間の距離を自動的に測定するシステムである。本サーベイでは, 得られる航空機(主局)ー地上局(従局)の2距離と飛行高度のデータを磁気テープに記録しておくことにより, 事後のヘリコプタの軌跡を標定する目的にも使用している。MRSは, 航空機に搭載した主局装置と地上のあらかじめ選定した既知の2固定点に設置した従局より構成され, 主局から発射されたマイクロ波信号の各従局間との往復時間より距離の計測を行う(Fig. 3.6参照)。なお直距離から水平距離へ変換するために, 外部入力情報として電波高度計からの高度情報を必要とする。

MRSのシステムは, 送受信装置, アンテナ, ディスプレイ/コントロール装置および従局から構成されている。主局の送受信装置には, DEL NORTE Technology Inc. (米国)製の520 DDMU(Digital Distance Measuring Unit)を, ディスプレイ/コントロール装置には, SNCS-21(セナー社製の航法コンピューターシステム)を使用している。

従局の選択スイッチを設定するとMRSの主局の送受信装置は, アンテナを通して固有周波数のマイクロ波信号を全方向に送信する。地上従局は, この質問シグナルを受けるとすぐに固有の応答シグナルを発射する。主局の送受信機は, 各従局からの応答シグナルを受けると, 質問シグナルと応答シグナルとの時間差より距離に換算し, 表示パネルに表示する。このようにして得られた距離データは, ナビゲータの前に備え付けられたコントロール装置へ送られる。ナビゲータはコントロールボックスのファンクションスイッチを選ぶことにより, 航法に必要な各種情報を得ることができる。また設定コース上からの左右のずれ, 次のWPT(Way point; コース上の仮想設定点)までの前後の関係は, パイロットの前面パネルの計器にも出力され, アナログ方式のクロスマーカで示される。

ディスプレイ/コントロール装置SNCSの使用に際しては, 初期値(従局位置, 大略のサーベイ位置, 予定飛行コース上のWPT位置等)をROMに書き込んでおく必要がある。この装置でのWPT設定数は30地点までである。MRSの主な仕様をTable 3.9に示す。また下向きに取り付けられた主局のアンテナをPhoto 3.6に示す。

(2) 電波高度計

MRSに入力される高度情報は、電波高度計により測定される。ここで使用している電波高度計、KING社のKRA 405は、地上から2,000ftより着地までの高度を高い精度で測定する。このシステムは、送受信機本体と機体下部に取り付けられた35°角のコニカルホーン型の送受信アンテナとパイロット席の前面のパネルの高度指示計により構成される。

送信アンテナから発射されたRF波は最も近い地表の障害物により反射され、この反射波は航空機で受信される。発射波と反射波との時間差より距離に換算され、指示計に出力するとともに、MRSの高度情報として送り出される。電波高度計の主な仕様をTable 3.10に示す。また位置計測に係わるアンテナのヘリコプタへの装着状況をPhoto 3.7に示す。

(3) 気圧高度計

さらに2,000ft以上の高度飛行においては、高度による気圧の減少の関係^{注)}を利用したアネロイド型の気圧高度計を使用する。気圧高度計からの高度信号はアナログ値で毎秒毎に磁気テープに記録される。

気圧高度計は、地表の起伏が激しい山間部、都市部での一定高度飛行の際に有用である。ただし、急激な気象要因の変化による気圧変動、すなわち高度の変動は誤差の要因を生む欠点もある。

(4) MRSの測距離の校正

MRS測距離の校正は、見通しの利く直線上で距離が既知の2固定点間で行う。ここでは、一つの例として名古屋空港における校正法を紹介する。名古屋空港の滑走路の脇に、MRSの主局を搭載したヘリコプタを地上に置き、もう一方の従局は標高86mの小高い山上にある小牧城において、校正を行った。両局間に滑走路を挟んでいることと、濃尾平野の中の空港近傍ということにより、見通しは非常によく、目立った障害物は何もない。この両局間の距離は、光波距離計を用いて傾斜距離を直接に測定しており、その距離は4656.0mであった。

上記の既知の地点に主局と従局をセットし、MRSの電源を投入すると、DDMUの表示窓には、0.1m単位で距離が表示される。距離の調整は、DDMU内のポテンショメータにより行う。滑走路の反射波等の寄与による変動が考えられ、距離の偏差は±0.5m程度ある。各従局(1~4局)についても同様の校正を行う。

実験前毎に距離の校正を行っているが、変動はあまりみられず、天候の気象条件等による変動は無視できると考えられる。

(5) MRSの使用

まずMRS航法を行う際、従局設置場所の検討、従局の設置および設置地点の位置算出等の労力を要する。マイクロ波の直線性による見通しの利く必要性より、従局の設置場所としては、山頂、灯台、鉄塔、高層建造物の屋上等が選ばれる。地上従局は、最大4局まで設置でき、そのうちの2局を適宜選択して使用する。現在までの使用経験より、見通しのよい場所に設置した場合、実用に耐える最大測距離は約40kmである。このため広い範囲のサーベイにおいて

注) 例えば、Laplaceの測高公式、 $Z_2 - Z_1 = 18400(1 + 0.00366 \theta_m) \log_{10} P_1 / P_2$ がある。

ここで、 θ_m は平均温度(°C)、Z、Pは高度、気圧。

は、見通し、電波の到達距離の点から、サーベイエリアをいくつかに分けて、異なる組み合わせの従局対を選択する。

一例として、昭和58年度に東海村周辺でのスキャン測定時の従局の配置地点とサーベイエリアをFig. 3.7に示す。従局1および2は山頂にある無線中継所の鉄塔に設置した。従局3は大洗研究所の気象観測用の鉄塔上に設置した。北部エリアのサーベイには従局1と3を使用し、南部エリアでは従局2と3を使用する。大洗所の鉄塔では、地上より35m高の地点に従局を設置したが、大洗より北部はほとんど平坦地形で障害となるものがないので充分であった。

主局用アンテナには無指向性のものを使用するが、従局用アンテナでは水平面内指向角度が 87° 、垂直面内指向角度が 6° と狭いため、通常は従局に人を配置してヘリコプタへ方向を合わせるようにする。無線従事者の有資格者を従局に配置し、従局員は従局の電源の確保および作動チェックをするとともに、ヘリコプタの無線またはヘリポートにある実験基地局との交信によりヘリコプタの飛行位置をつかんでいなければならない。

MRSによって得られる航法情報をFig. 3.8に示す。MRSのコントロール部は、図に示すような現在位置の緯度・経度、対地速度、飛行方位、予定コースへの方位、目的のWPTまでの方位・所要時間等の情報を表示する。ナビゲータは、MRSのコントロール部の操作のほか、あらかじめ飛行コースを記入した縮尺 $1/25,000$ または $1/50,000$ の地図を携え、飛行コースからの左右のずれをパイロットに知らせる役目をもつ。これにより、パイロットは高度を一定に保つことに注意を集中できる。電波高度計は低高度では表示の目盛りが細かくてよいが、500m以上の高度での測定では目盛りが粗いので気圧高度計を使用する。

レベル飛行による高度偏差は、パイロットの技量にもよるが $\pm 10\sim 15\text{m}$ と見積れることが経験より分かった。

(6) MRSの誤差評価

MRSによるヘリコプタの位置標定における不確かさは、機械的誤差と統計的誤差の両方を含む。MRSの機械的誤差は信号の伝播、電気回路内により生じ、Fig. 3.9¹⁾に示すように測定距離が長くなるにつれ誤差も増大し、実際の距離よりも長く表示する。100,000ftより上の領域では、誤差の補償が行われている。また2距離を測定するタイミングの時間差が95msecあり、2~3mの誤差を生むが事後の処理において補正される。

一方MRSの統計誤差は、Fig. 3.10¹⁾に示される。統計誤差はMRSの主局と両従局とを結ぶ線の交差角 α に依存し、 α が $0^\circ\sim 30^\circ$ の範囲内でx方向、 α が $150^\circ\sim 180^\circ$ の範囲内でy方向の誤差が大きくなる。したがって実用になる角度範囲は $30^\circ\sim 150^\circ$ 内で、距離は短いほうが良い。

昭和56年度に愛知県伊良湖畑地において実施した周回飛行の軌跡をプロットしたものをFig. 3.11に示した。これは得られた位置情報からある地点を座標原点として、2対の従局からの相対的な位置関係を三角法を用いて、大型計算機により処理した例である。

各従局は、図中の右下と、図には載っていないが、図の左下隅から海岸線延長上に下へ約2.5kmの所に設置した。この場合サーベイ域の各従局との交差角は $\alpha=55^\circ\sim 150^\circ$ であり、実用範囲内である。畑地内の農道を目標に目視による飛行を行ったので、地図上の道からのずれ

により、位置情報の評価が行える。従局からの距離が短く、適切な α の範囲内での使用により、非常に誤差が小さく、10mの誤差で位置の標定ができています。このことはビデオテープでも確認された。

3.3.2 グラフィックビデオシステム, GVS

MRSは電波的に見通しの利かない地域では使えないという欠点を補う意味で、GVS (Graphic Video System)を併用している。またMRSの位置標定の誤差チェックおよび機内の会話等の録音によるサーベイ状況の事後保存のために使用される。Fig. 3.12にGVSによる航跡標定システムの構成図を示す。

カメラはヘリコプタの胴体に下方に向け固定され、カメラの映像はナビゲータおよびオペレータの前に取り付けられたモニタ画面に映し出される。GVSは、MRS本体からの電波高度計値、従局コード、従局からの距離情報、鉛直ジャイロからの飛行鉛直下のマークを内部の時刻とともに、地上画像に重ねてモニタに表示する。このようにして文字情報等が重ねられたGVSの画像は、VTR記録テープ (VHS方式) に録画される。GVSによる画像をPhoto 3.8に示す。

ヘリコプタは旋回時において、また気象条件、地形の影響により安定した水平姿勢をとらない場合もあるため、画像中に姿勢状態を示す鉛直下マークが必要である。鉛直ジャイロにはSPERRY社製のモデルVG-14Aを使用している。ジャイロは、ヘリコプタの振動が伝わらないように、緩衝台に載せられており、これによりヘリコプタのピッチ、ロールの偏位情報を得て、その偏位に連動した鉛直下マークをビデオモニタ上へ表示する。ロールの自由度は $\pm 360^\circ$ 、ピッチの自由度は $\pm 85^\circ$ である。鉛直下ジャイロのピッチ、ロールのゲイン初期調整は地上で行い、川面、池の水面にヘリコプタの機影を映すことにより確認する。

カメラは、高度200mで前後120m x 横幅170mの地上画像を映し出すことができ、視野をもっと広くする場合には、さらに広角レンズを使用したカメラを用いる。

GVSシステムの問題点は、このシステムのみで飛行コースの標定を行う場合、サーベイ地域の地理に精通していることが望ましく、かなりの労力を伴う。特に、特徴のない地域では困難を極める。海上で使えないのは勿論のことである。

だが、例えば電波高度計値と映像を入れておくことは、電波高度計は最寄りの障害物からの高度を表示するため、地表上の小山の隆起、建物等による高度値の跳びが異常値かどうかの判断に有益な手段である。

3.4 サーベイ飛行法の検討

MRSが良い条件下で使用される場合は、ヘリコプタの位置は高い精度で同定できることが確かめられた。ここでいう良い条件下とは、一般的に平坦地形でのサーベイをいい、また従局を設置する場所がすぐに見つかり、電波の見通しがあることをいう。実際には、原子力施設は人里離れた山蔭等に立地する場合が多く、MRSを使用したサーベイに必ずしも適しているとはいえない。

このように地勢上MRSの使用に適していない山間部での測定では、目標物沿い飛行の方法をとるようにする。目標物としては、主要道路、川、山の尾根等である。飛行後の位置同定は、VTRシステムの画像より、時刻と位置の対応づけを地勢図上にプロットすることにより行われる。Fig. 3.13に、昭和59年度に福井県の原子力施設周辺で実施されたサーベイにおいて、VTRにより標定したヘリコプタ軌跡図を示す。また平坦地形上に立地する原子力サイトにおけるサーベイ飛行モードは、昭和58年度の茨城県東海村周辺でのサーベイ実験で実施された。この実験では、GCR（ガス冷却炉）およびJRR-2から放出される ^{41}Ar を対象線源として行った。緊急時を想定して次の飛行モードで実験を行った。

1) 追跡飛行：放射性プルーム軸を横切ってジグザグに飛行して風下に向かって追跡する。この場合には、スペクトルおよび特定ウィンドウ値をあるいはチャート紙上の時間変化をオペレータが機内で監視しながらプルーム軸を推定する。

2) 放出量推定飛行：原子力サイトからの放出量の推定を行う飛行モードで、サイトから風下1, 1.8 km離れたラインを高度を2高度変えて往復飛行することにより、放出量推定を行う。

3) 同心円飛行：風向きの変化等でプルーム軸を見失った場合、サイトを中心とした同心円の飛行を行い、プルームの流れる方向を探る。

4) スキャン飛行：サイト周辺の線量率マップを描くために、等距離間隔のライン飛行を行う。

各飛行モードでの軌跡図をFig. 3.14～3.17に示す。なお緊急時災害では、相当高い線量率が予想されるため、より確かな飛行が行える。

3.5 実用サーベイシステムの作製

既存のシステムをより高性能かつコンパクトにし、緊急時におけるヘリコプタへのシステムの搭載を容易にした設計で、実用型のサーベイシステムの整備を進めた。実用システムでは、MRS位置計測器を除くと、2個のラックに収納される。各ラックは、搬送用容器も兼ね、直接ヘリコプタに搭載固定して使用される。

実用システムのブロック図をFig. 3.18に示す。従来の2系統の検出器に加えて、緊急時には高い線量率が予想されるため、高レベル用検出器として鉛遮蔽付の2"φx2"検出器を含め、3系統とした。予備の系統を含めると全部で4系統の検出器を接続できる。従来の波高分析器に加え線量ユニットを製作し、検出器からの放射線パルスはこれにより線量換算される。線量ユニットには、各種検出器のG(E)関数値がROMに書かれており、3系統の検出器に対して、線量率、線束の表示を行う。線量ユニットのブロック図をFig. 3.19に示す。

データ収録装置(DAS-8)では、GR-800Dからの2系統の256チャンネルのパルス波高スペクトル、線量ユニットからの線量率、線束情報、位置情報を取り込み、時刻、データ識別情報とともに、デジタルカセットレコーダへ出力される。データの記録は従来のオープンリール磁気テープから、デジタルカセット磁気テープに変更した。その際、記録密度は8倍の6400BPIに高められた。また旧システムでは、波高分析器のチャンネル数がメモリーの制限から256チャンネルと64チャンネルであったが、実用システムでは、256チャンネル、2系統と分解能

力が高まった。

グラフィックチャートレコーダは、最大32チャンネルのアナログ入力の時系列記録をする性能をもつ。グラフィックビデオシステムでは、従来の画像情報に線量ユニットからの線量率、線束情報を加えた。

実用システムでは、データ収録部のコンパクト化が計られ、線量ユニットの組み込みにより、線量値の直読がサーベイ中にできるようになった。実用システムの最大の長所は、ヘリコプタへの搭載を容易にしたことにより、サーベイ始動までの短時間化が計れることである。ヘリコプタの機種は、より大型のベル212相当機を考えている。さらに、システムの簡略化も自由にできる利点をもつ。システムの簡略化した構成例を Fig. 3.20 に示す。

Table 3.1 Specifications and performance for the helicopter used in radiation survey.

Vehicle	Helicopter (Bell 206L-1 Long Ranger)
Number of Engine	1
Maximum Altitude	4050 m (13,300 ft)
Maximum Range	554 km (301 nm)
Endurance	3 hr
Cruising Speed	202 km/hr
Minimum Speed	0 km/hr
Navigation system	M.R.S.
Altimeter	Radar-, Pressure- Altimeter
Flight Crew	Pilot, Navigator, Instr. Operator
Radiation Detectors	Various NaI(Tl) scintillation probes
Graphic Vedeo Equip.	VTR - Camera
Electric Capacity	137 Amps. / 28 Vdc
Useful Burden	830 kg (1,830 lbs)

Table 3.2 NaI(Tl) scintillation detectors.

CRYSTAL FORM	RADIATION LEVEL	DESCRIPTIONS
4" x 4" x 16" x 4" (DET-1024)	Low	Large volume Provided with Heater, Shock-absorber
3" ϕ x 3" (DET-21)	Medium	Commonly used type Provided with Heater, Shock-absorber
3" ϕ 5" ϕ	Medium	Good angular sensitivity, Standard measurement
3" ϕ x 3" 4" ϕ x 4" 5" ϕ x 4"	Medium	For comparison with the systems of AMS and others (only 4" ϕ x 4" detector)

Table 3.3 Specifications and functions of detector interface unit, GR-900.

GENERAL FUNCTIONS

- (1) Detector temperature control.
- (2) PMT high voltage supply and adjustment.
- (3) Pulse mixing and shaping amplifiers.

SPECIFICATIONS

- (1) 10 PMTs in maximum can be accommodated.
- (2) High voltage power supply furnishes 1000 - 1400 voltage to the detectors.
- (3) The temperature of an internal detector package can be controlled at +20°C to +60°C in 10°C steps.

Table 3.4 Specifications and functions of multichannel spectrometer, GR-800D.

GENERAL FUNCTIONS

GR-800D:

- (1) sorts the pulse heights from GR-900 into 256 channels for DOWN, and 64 channels for UP, and stores.
- (2) displays 253 channel counts and the counts in the energy windows K,U,Tl, and total counts.
- (3) is used as the indication on the detector gain adjustment by using Cs-137 and Tl-208.
- (4) has the settings for lower threshold, ADC zero offset, and accumulation time.
- (5) has a recorder calibration switch for the zero and full scale settings for the analog recorder, GAR-6S.

SPECIFICATIONS

- (1) 2 ADC boards (64ch. for UP, 256ch. DOWN).
- (2) 2 digital outputs: spectrum into G-714 and G-715.
- (3) 9 channel analog output ports: level 0 to +5 V.
- (4) Maximum count rate: 85,000 cps.
- (5) An accumulation time: from 0.1 to 9.9 seconds.
- (6) Dead time on ADC: 5 μsecs.

Table 3.5 Specifications and functions of data acquisition system, G-714.

GENERAL FUNCTIONS

Data collection, data formatting, and data recording.

SPECIFICATIONS

- (1) Add-on information as header, time, etc. are inputted by 40-keys keyboard and recorded.
- (2) 16 characters alphanumeric readout is displayed on a front panel.
- (3) Maximum length of 1 scan data is 768 chrs., and maximum length of 1 record is 3042 bytes.
- (4) Fiducial count is increased with an external button.
- (5) 8 analog inputs: level 10 Volts., digital input; TTL compatibility, and internal clock are provided.
- (6) Tape deck is interfaced with 9 TRKs, 800 BPI, NRZ1- IBM compatibility.
- (7) A timing pulse is outputted to microwave ranging system.

Table 3.6 Survey data recording format that shows the position of each byte of data and the type of code written on magnetic tape. The number of bytes per scan is 761.

byte No.	Code	Description
1 - 16	ASCII	Date ("YxxDxxxHxxMxxSxx")
17 - 20	ASCII	Header
21 - 25	ASCII	Fiducial Count
26	ASCII	Remote Station Code -1
27	ASCII	Remote Station Code -2
28 - 32	ASCII	Range -1
33 - 36	ASCII	Height
37 - 41	ASCII	Range -2
42 - 89		(BLANK)
90 - 95	ASCII	Pressure Altimeter
96 - 101	ASCII	Radar Altimeter
102 - 104	BINARY	Accumulation Time (For DOWN-DET)
105 - 107	BINARY	Total Count -1
108 - 110	BINARY	Total Count -2
111 - 113	BINARY	Potassium Window Count
114 - 116	BINARY	Uranium Narrow Window Count
117 - 119	BINARY	Uranium Wide Window Count
120 - 122	BINARY	Tl-208 Window Count
123 - 125	BINARY	Cosmic Count (For UP-DET)
126 - 128	BINARY	Total Count -1
129 - 131	BINARY	Uranium Narrow Window Count
132 - 134	BINARY	Uranium Wide Window Count
135 - 640	BINARY	DOWN Spectrum (3 - 255 ch)
641 - 760	BINARY	UP Spectrum (1 - 60 ch)
761	BINARY	GP1B Checksum

Table 3.7 G-715 (airborne data display unit) function modes.

<u>Mode</u>	<u>Contents</u>	<u>Data</u>
(1) SPEC	Spectrum	GPIB out data from GR-800D
(2) S/H	Spectrum and Header	Data written on magnetic tape
(3) HDR	Header	Data written on magnetic tape

Table 3.8 Chart recorder, GAR-6S specifications.

SPECIFICATIONS

- (1) Thermal writing on 200ft roll paper
- (2) Frequency response: 100 msec maximum
- (3) Motor drive speed: 0.25 - 64 cms/min in 9 positions
- (4) 6 chart outputs

FULL SCALE SETTING (Switches are in GR-800D)

Channel	Contents	Std. full scale
Ch.1	Potassium window counts	1,000 counts
Ch.2	Uranium window counts	100 counts
Ch.3	Thorium window counts	100 counts
Ch.4	Total counts	2,000 counts
Ch.5	Barometric altimeter	500 - 4,000 meters
Ch.6	Radar altimeter	500 meters

Table 3.9 M.R.S. specifications.

Maximum range: 80 km
 Minimum range: 100 m
 Display: 99999.9 m
 of 6 figures, 2 ranges
 Resolution: 0.25 m
 Range accuracy: $\pm 1m$ at 500m~20km
 $\pm 1.5m$ at 20km~40km
 $\pm 1.5\sim 3m$ at 40km~80km

ANTENNA

Master transciever antenna - nondirectional
 Remote transciever antenna - directional

	nondirectional		directional		
Plane of polarization	horizontal polarization				
Horizontal directivity	360°	180°	87°	10°	22°
Vertical directivity	20°	5°	6°	5°	6°
Gain	6db	16db	16db	25db	22db

Transmitting frequency:
 Master, 8960 MHz
 Remote, 8860 MHz

Table 3.10 Radar altimeter specifications.

Maximum height: 2,000ft
 Accuracy: (0~500ft) $\pm 5ft$ or $\pm 5\%$, which is great
 (500ft~2,000ft) $\pm 7\%$
 Frequency: 4,300 MHz

TYPE: Multipurpose craft

MODEL: Bell 206L-1 Long Ranger Helicopter

DIMENSIONS

Length(rotating rotars): 13.02m

Width(skid width): 2.34m

Height: 3.15m

Diameter of a main rotar: 11.28m

Diameter of a tail rotar: 1.58m

Passengers, 6

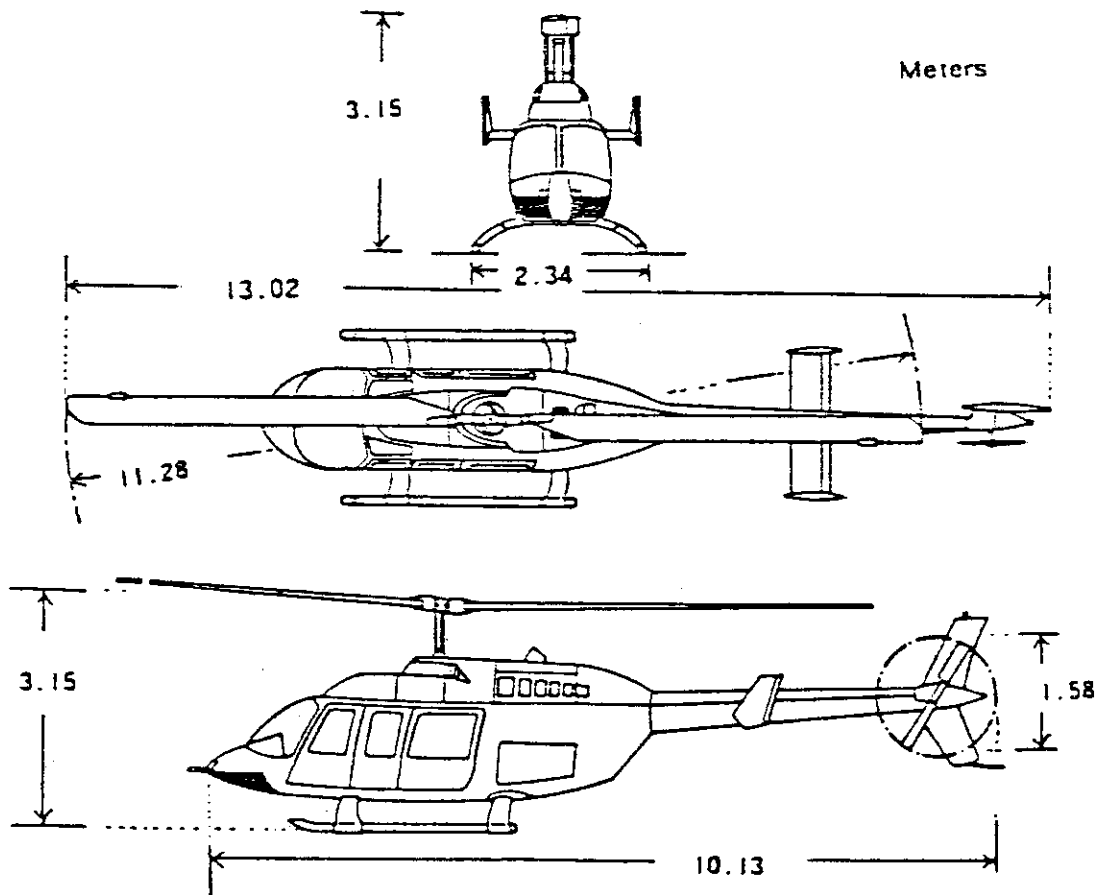


Fig. 3.1 The Bell 206L-1 helicopter.

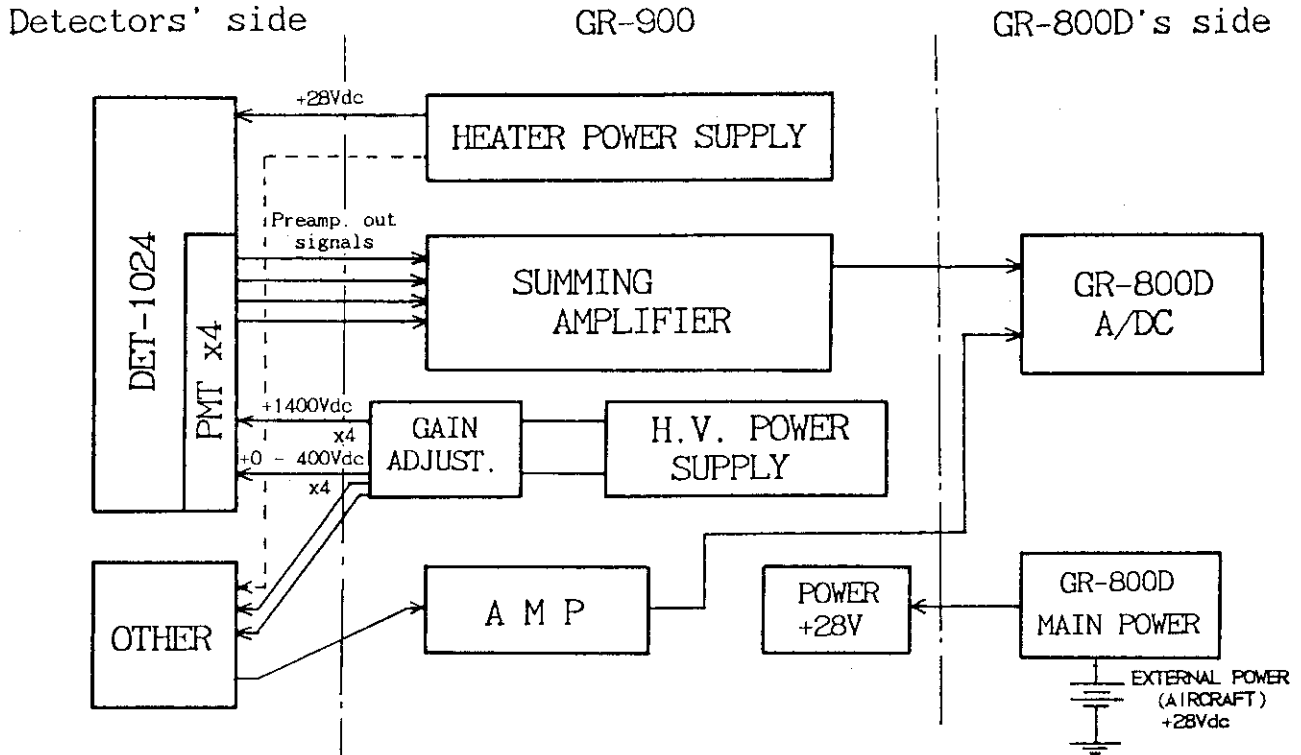


Fig. 3.2 Block diagram of detector interface unit, GR-900.

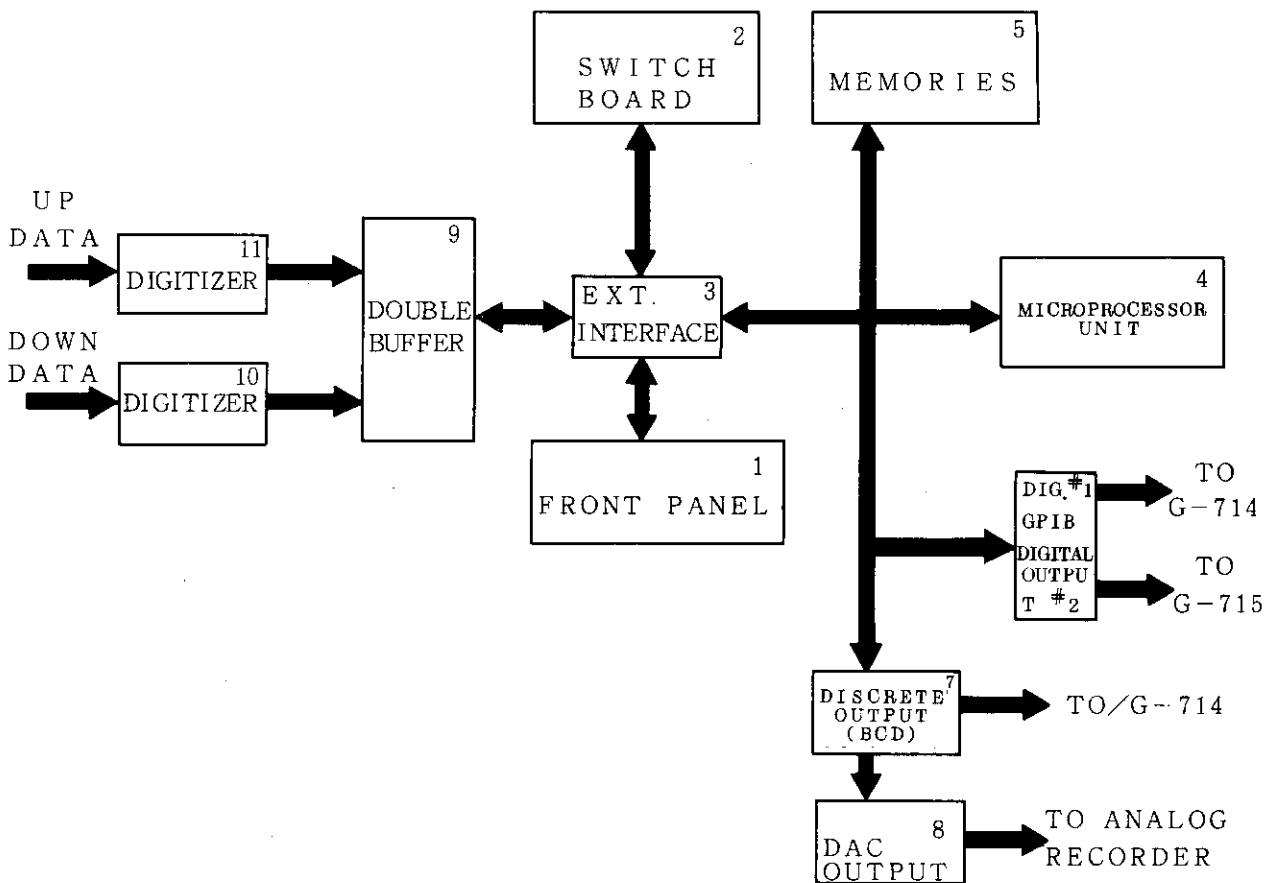


Fig. 3.3 Block diagram of multichannel gamma-ray spectrometer, GR-800D.

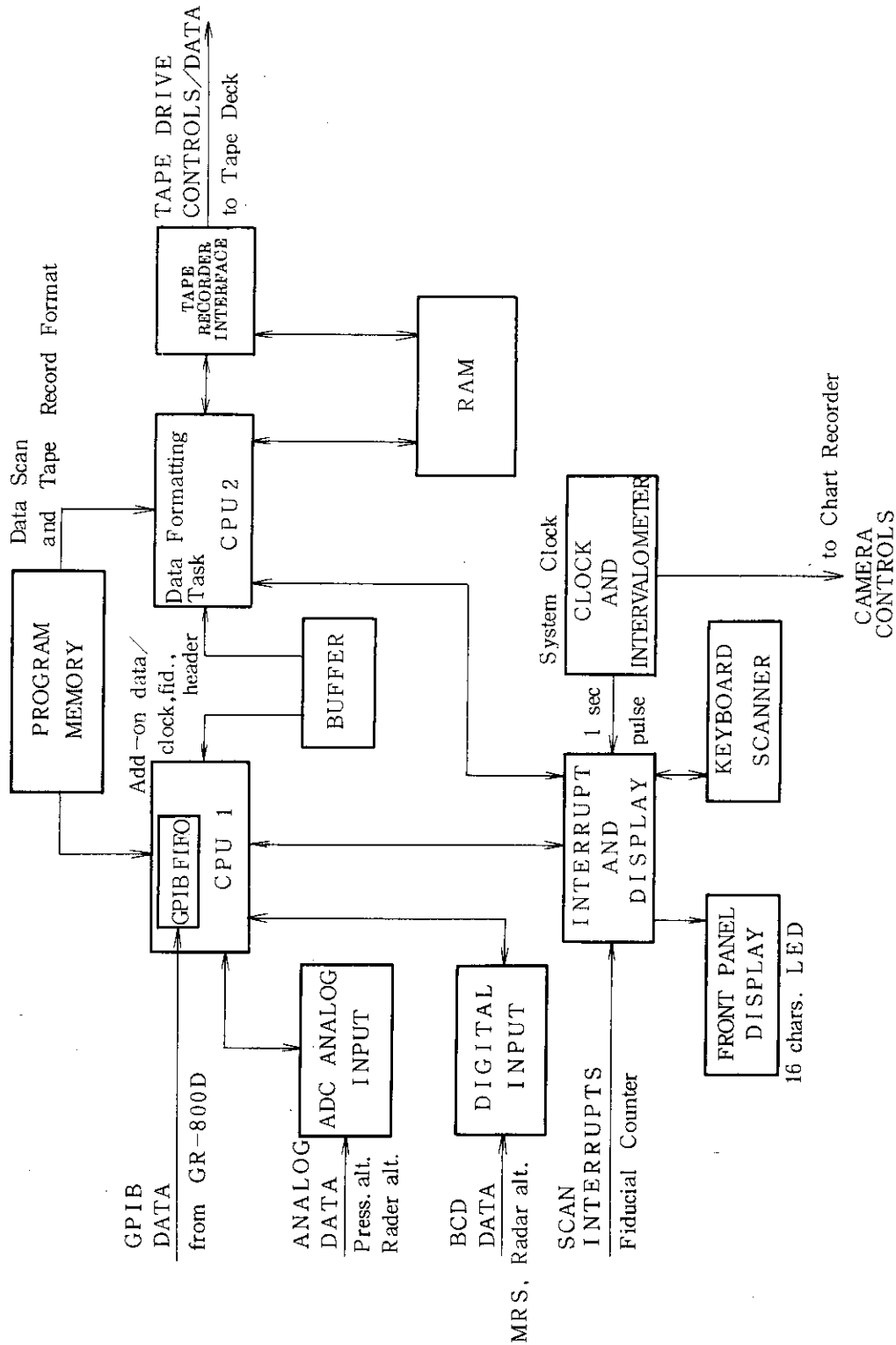


Fig. 3.4 Block diagram of data acquisition system, G-714.

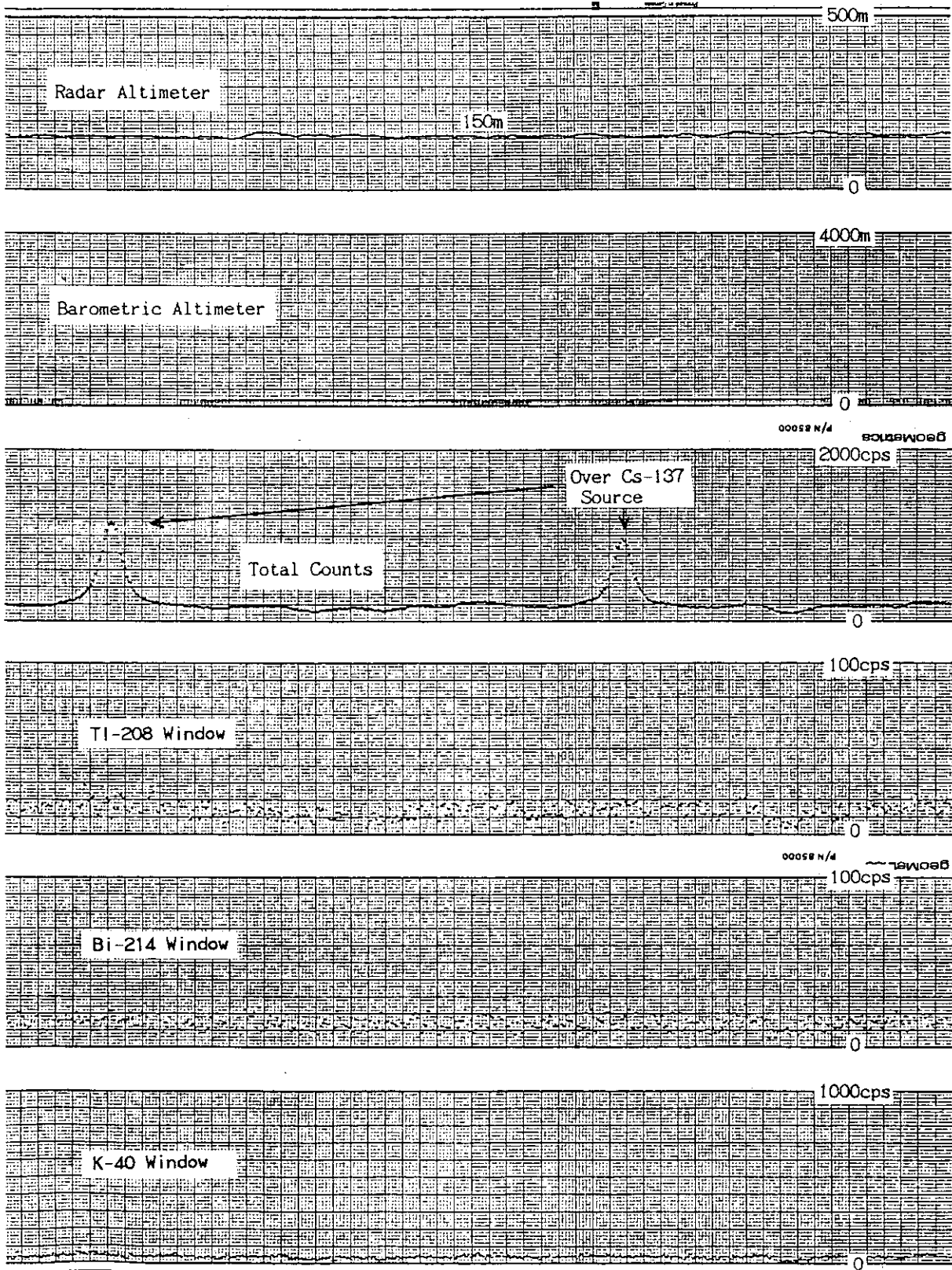
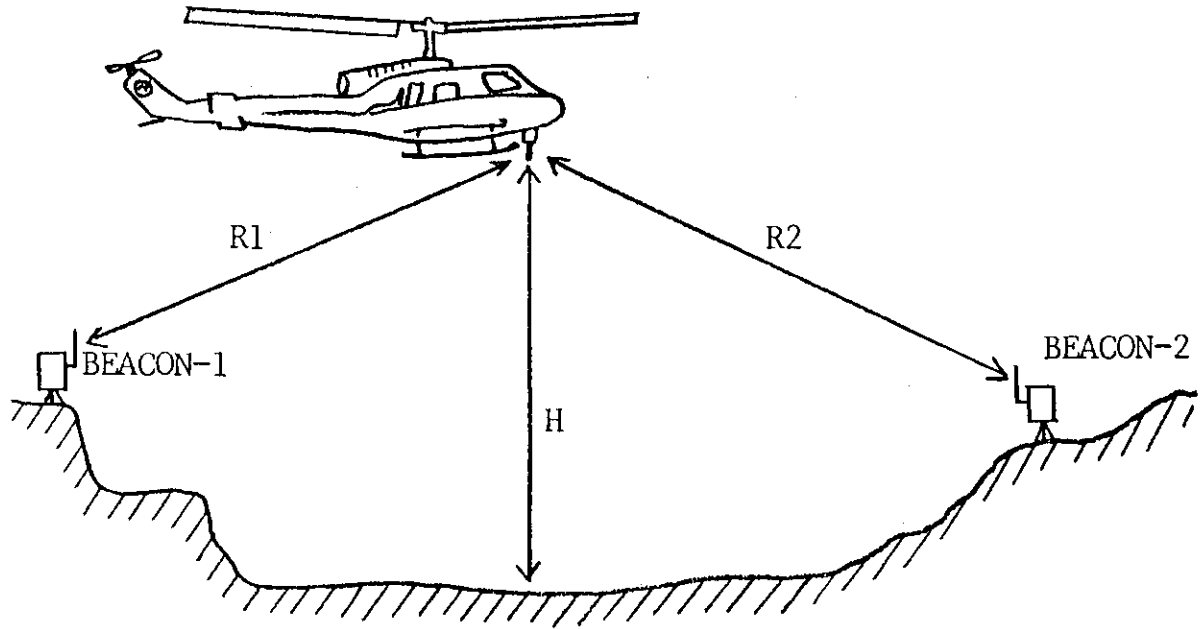


Fig. 3.5 Strip chart output showing the increase of total count, recorded over a 300mCi point source of Cs-137 at 150m height. Window K ranges from 1.37 to 1.56 MeV, U from 1.67 to 1.86 MeV, and Th from 2.41 to 2.80 MeV.



R1: MASTER-BEACON1 distance by MRS
R2: MASTER-BEACON2 distance by MRS
H : Real height by RADAR ALTIMETER

Fig. 3.6 Positioning system of microwave ranging system.

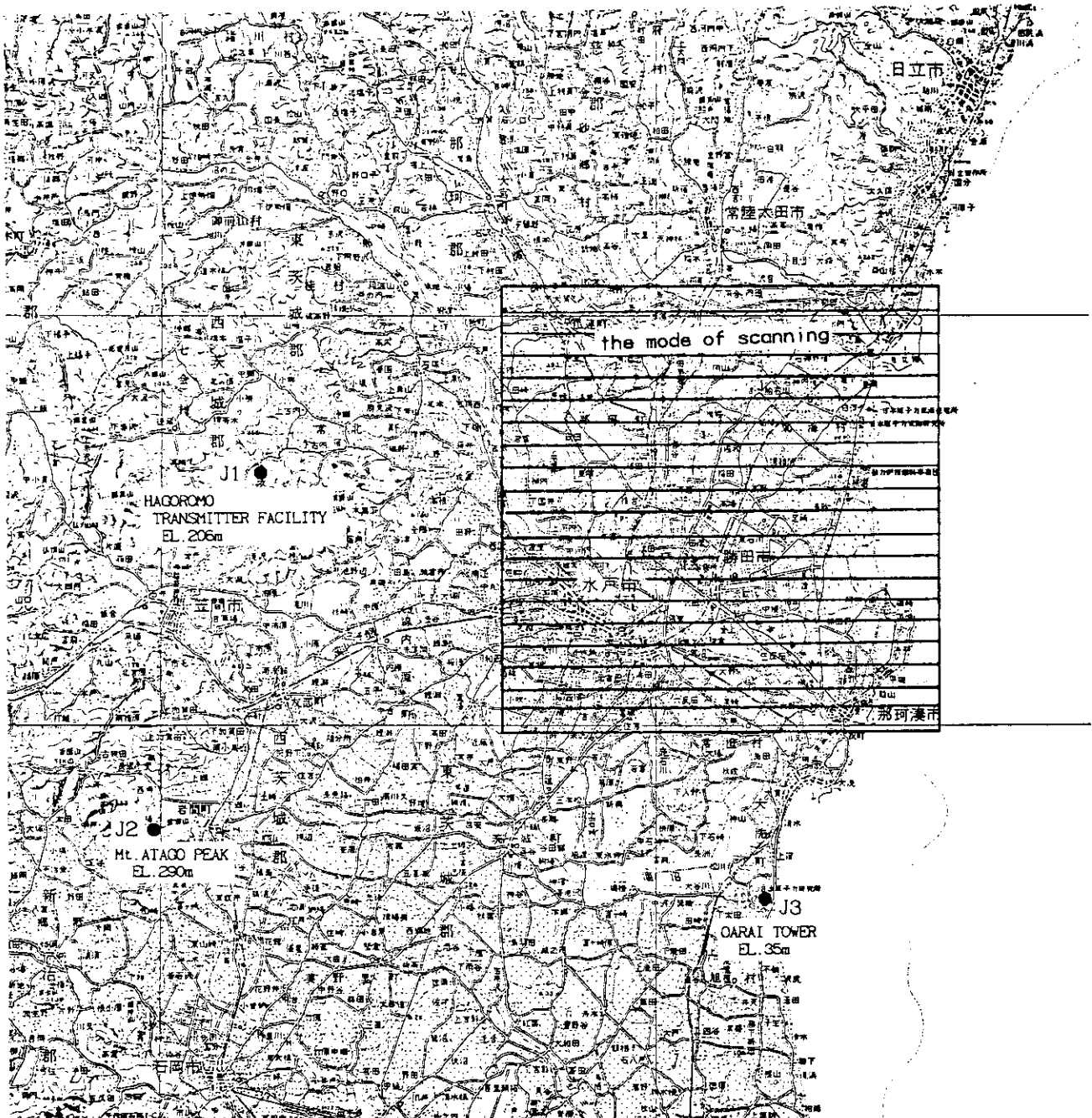
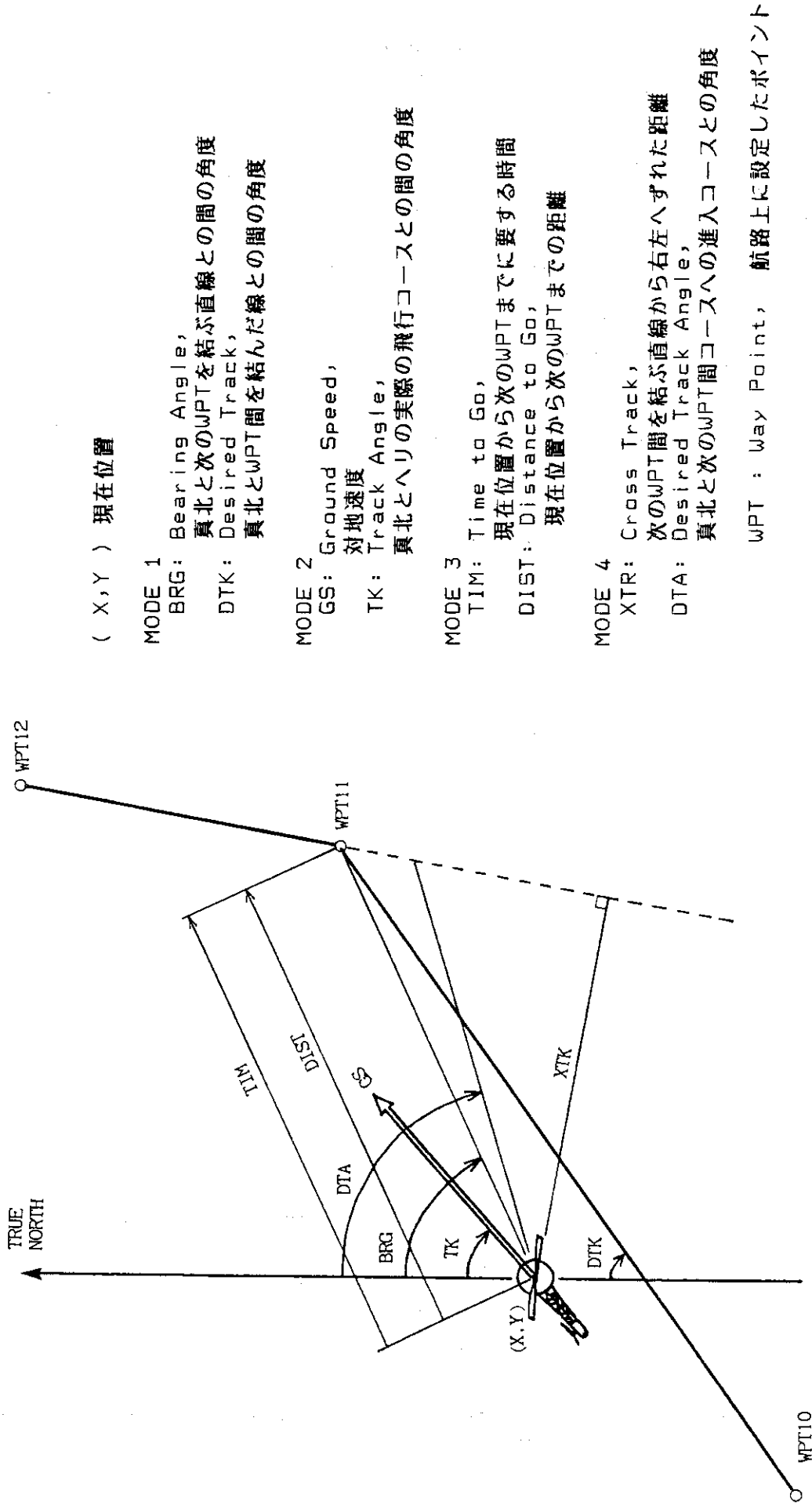


Fig. 3.7 Geometry relating the M.R.S. beacon locations.



(X,Y) 現在位置

MODE 1

BRG: Bearing Angle,
真北と次のWPTを結ぶ直線との間の角度
DTK: Desired Track,
真北とWPT間を結んだ線との間の角度

MODE 2

GS: Ground Speed,
対地速度
TK: Track Angle,
真北とへりの実際の飛行コースとの間の角度

MODE 3

TIM: Time to Go,
現在位置から次のWPTまでに要する時間
DIST: Distance to Go,
現在位置から次のWPTまでの距離

MODE 4

XTR: Cross Track,
次のWPT間を結ぶ直線から右左へずれた距離
DTA: Desired Track Angle,
真北と次のWPT間コースへの進入コースとの角度

WPT : Way Point, 航路上に設定したポイント

Fig. 3.8 Navigation data from M.R.S.

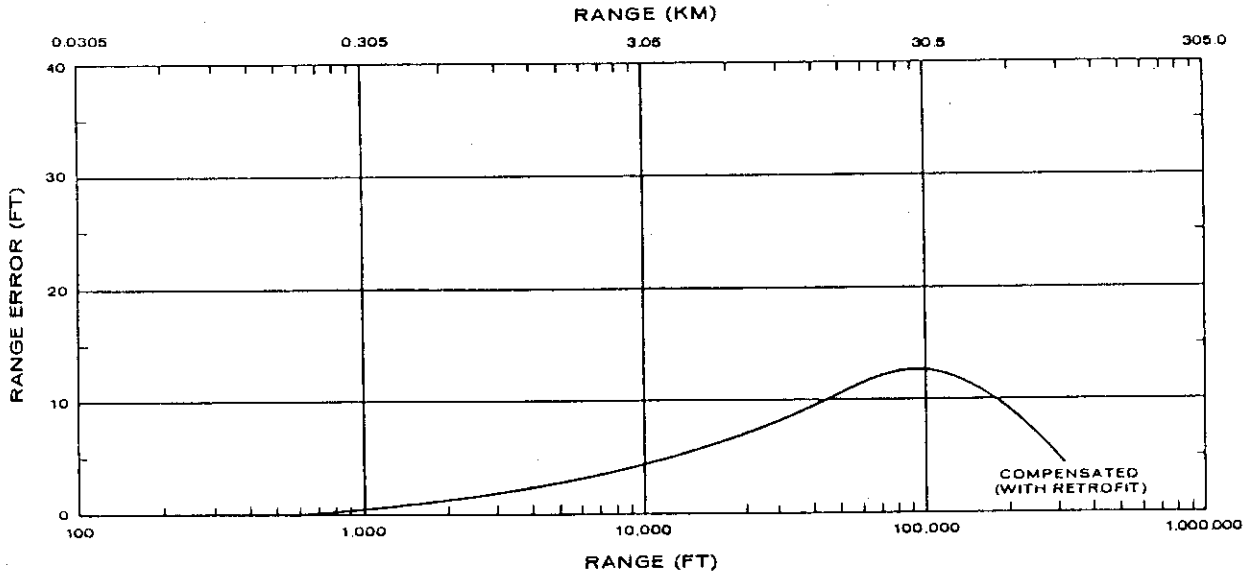


Fig. 3.9 Systematic range error for M.R.S., quoted from the reference(1).

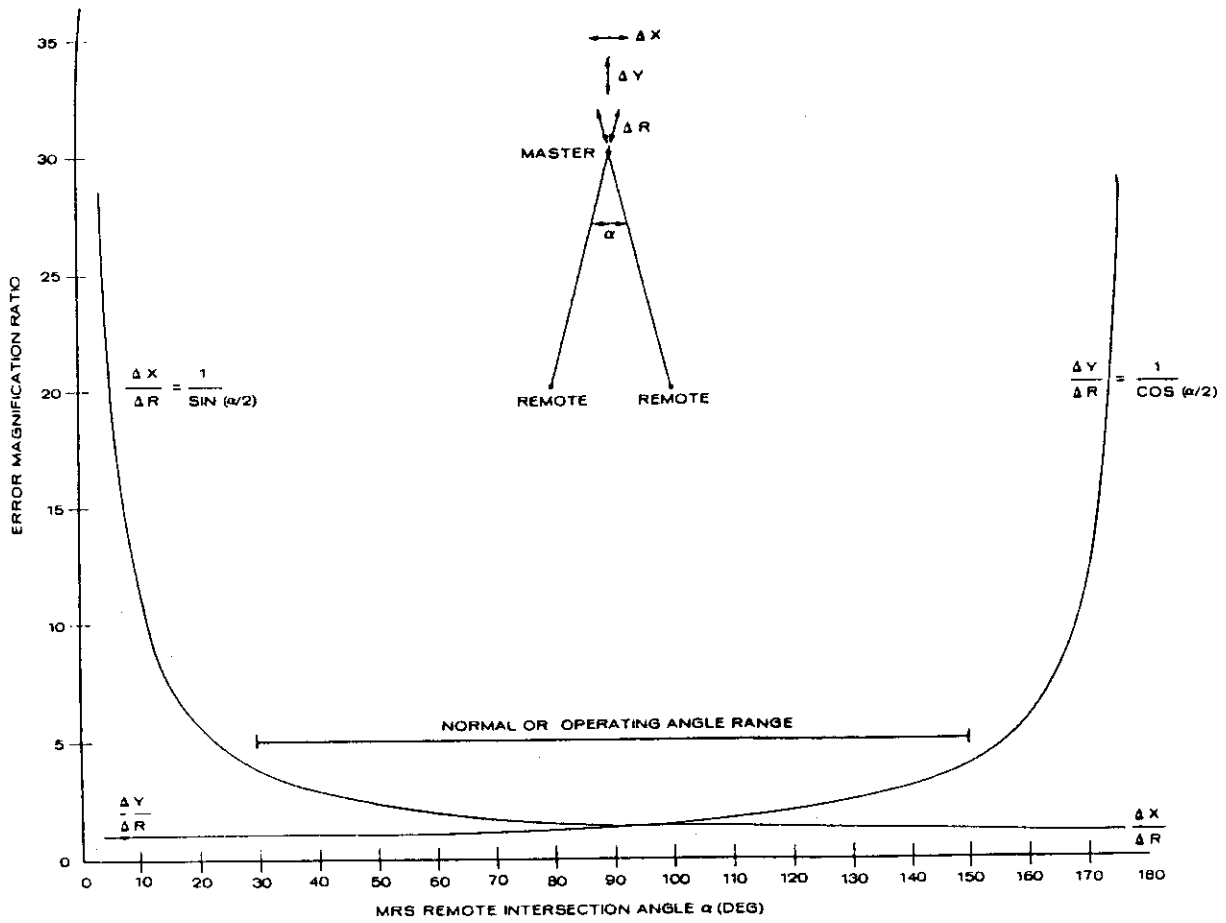


Fig. 3.10 Statistical range error with the angle alpha, quoted from the reference(1).

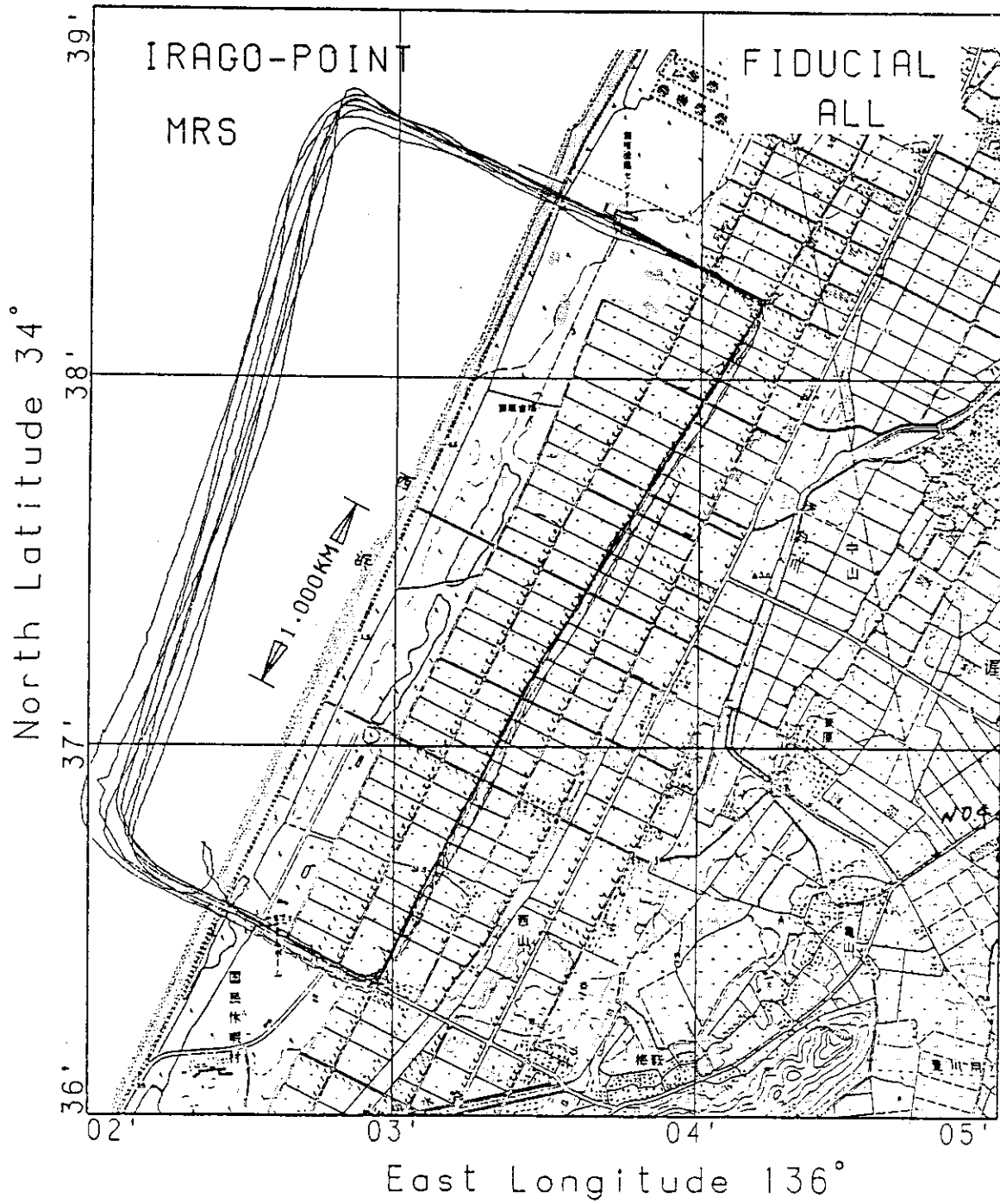


Fig. 3.11 Helicopter survey lines at Irago experimental fields.

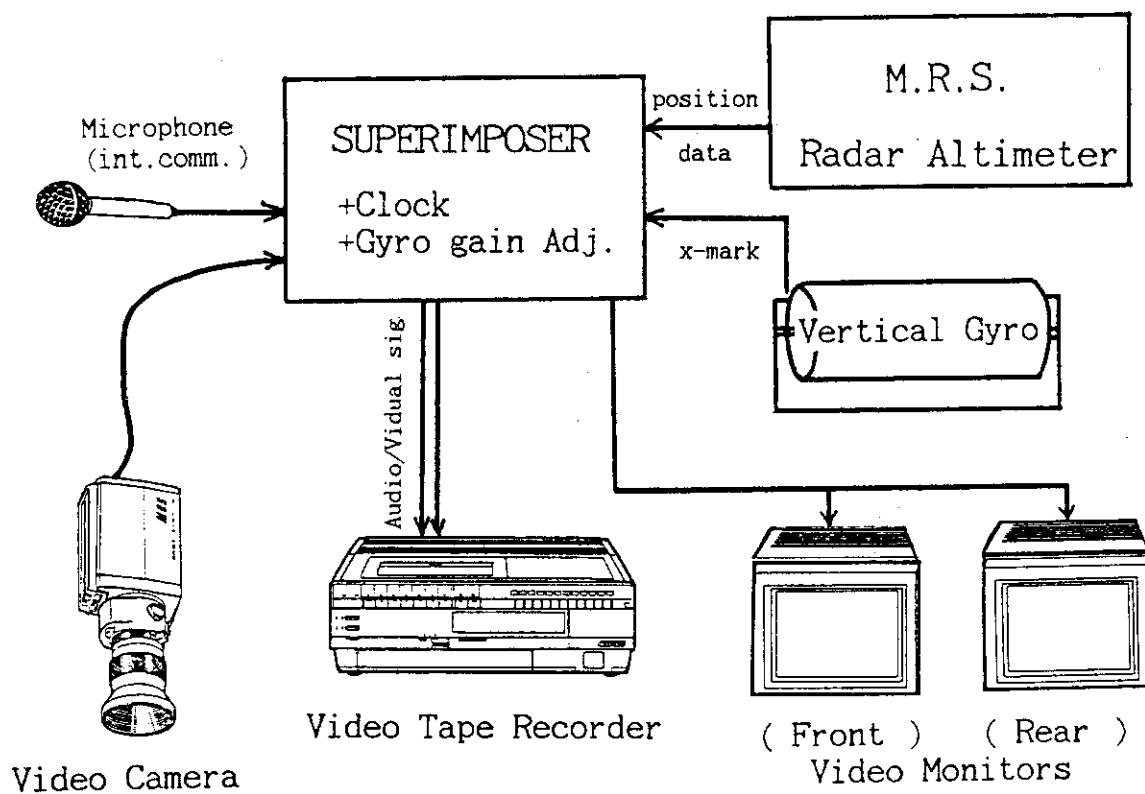


Fig. 3.12 Block diagram of VTR system.



Fig. 3.13 Survey lines plotted manually from scene of VTR system.

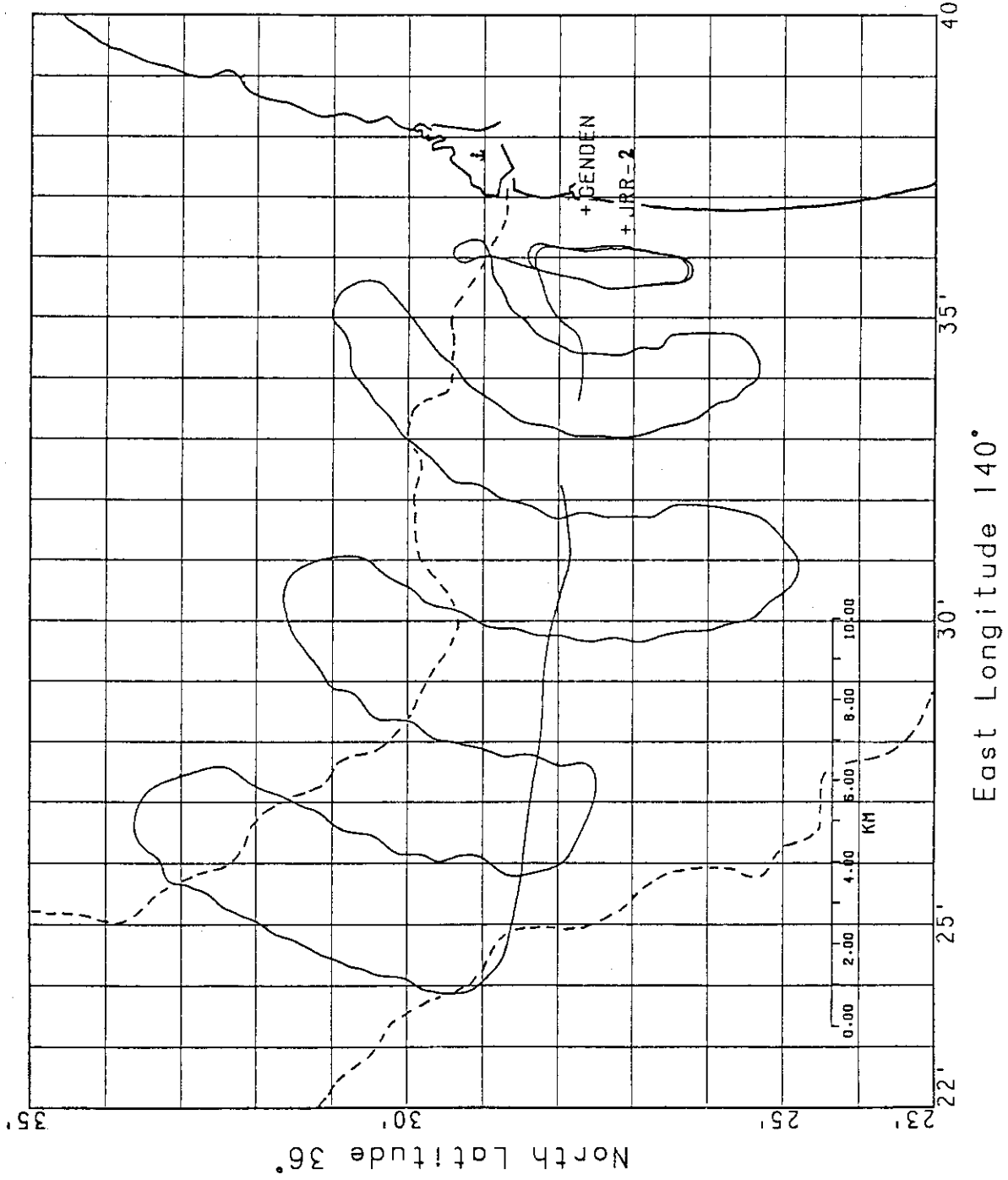


Fig. 3.14 Helicopter trace at the mode of plume chase.

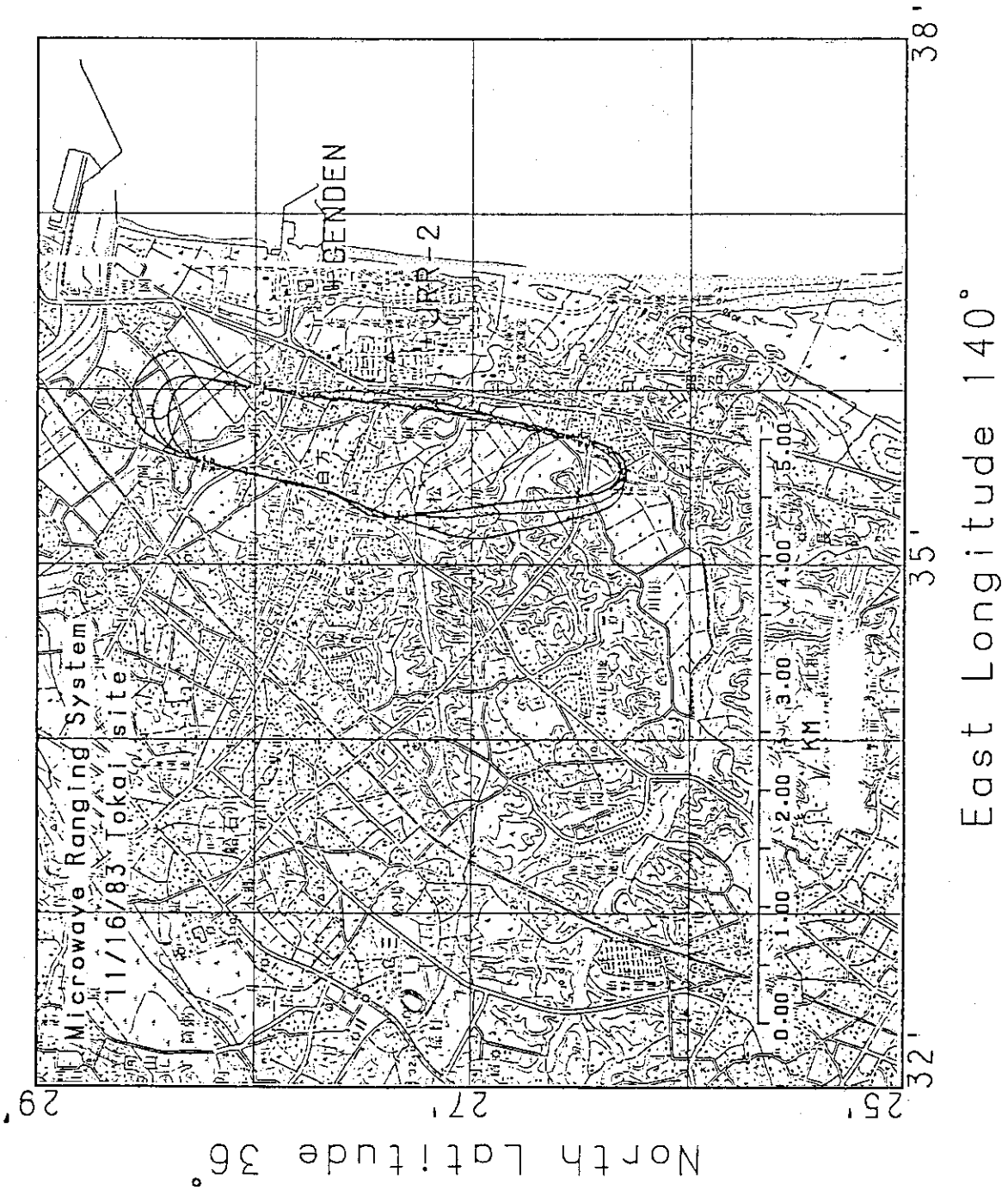


Fig. 3.15 Helicopter trace at the mode of certifying the amount of Ar-41 gas.

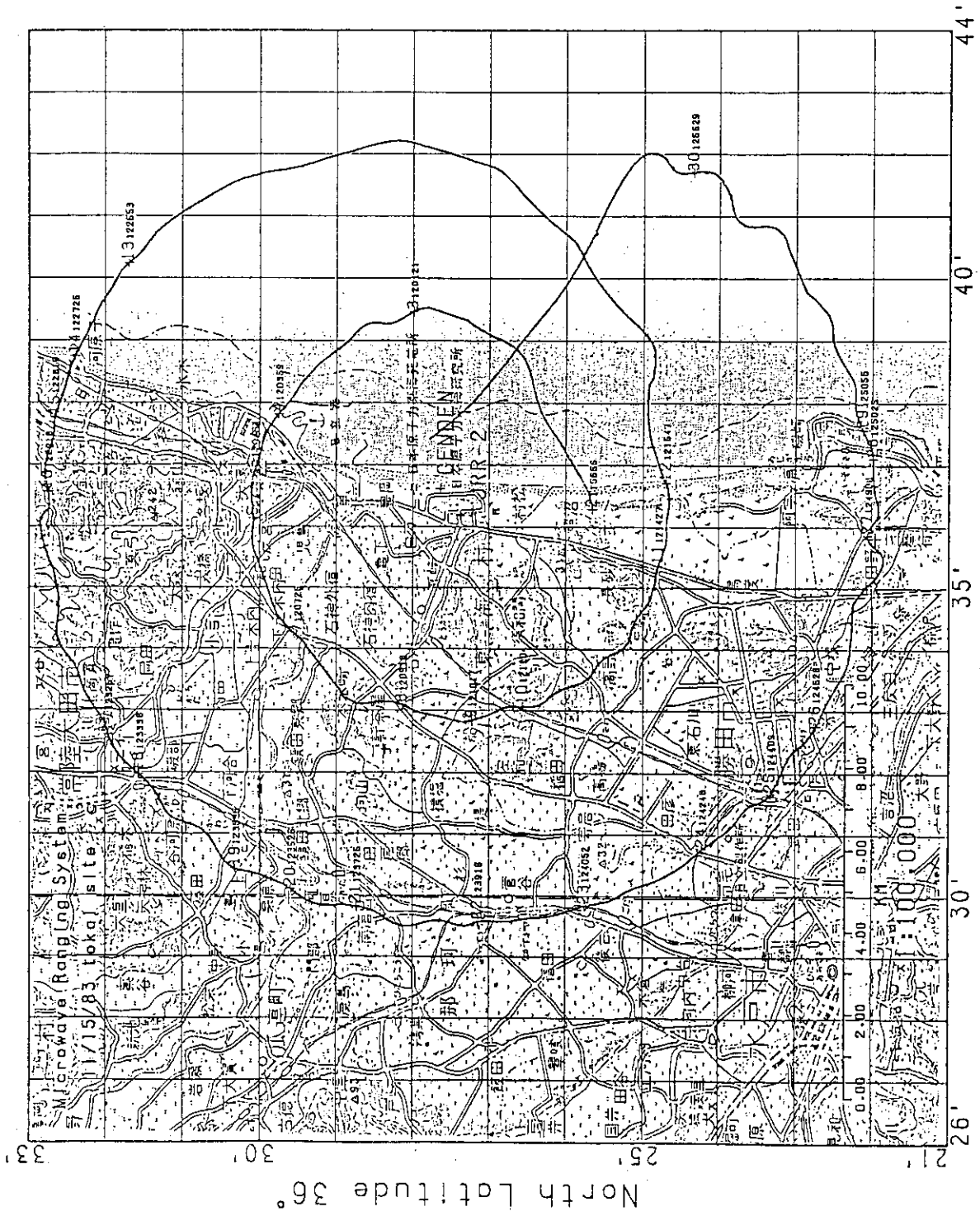


Fig. 3.16 Helicopter trace at the mode of concentric circular flight.

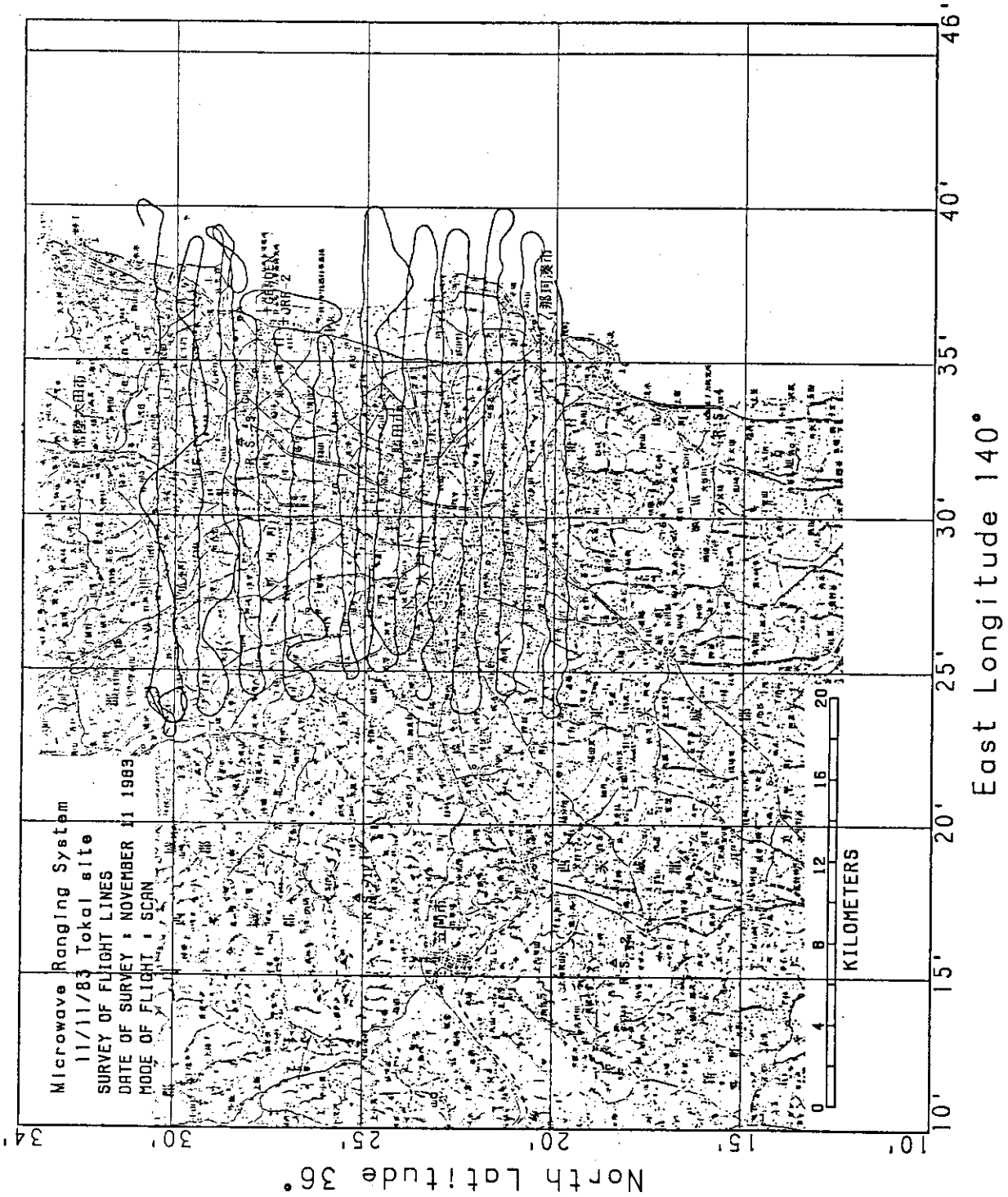


Fig. 3.17 Helicopter trace at the mode of scanning.

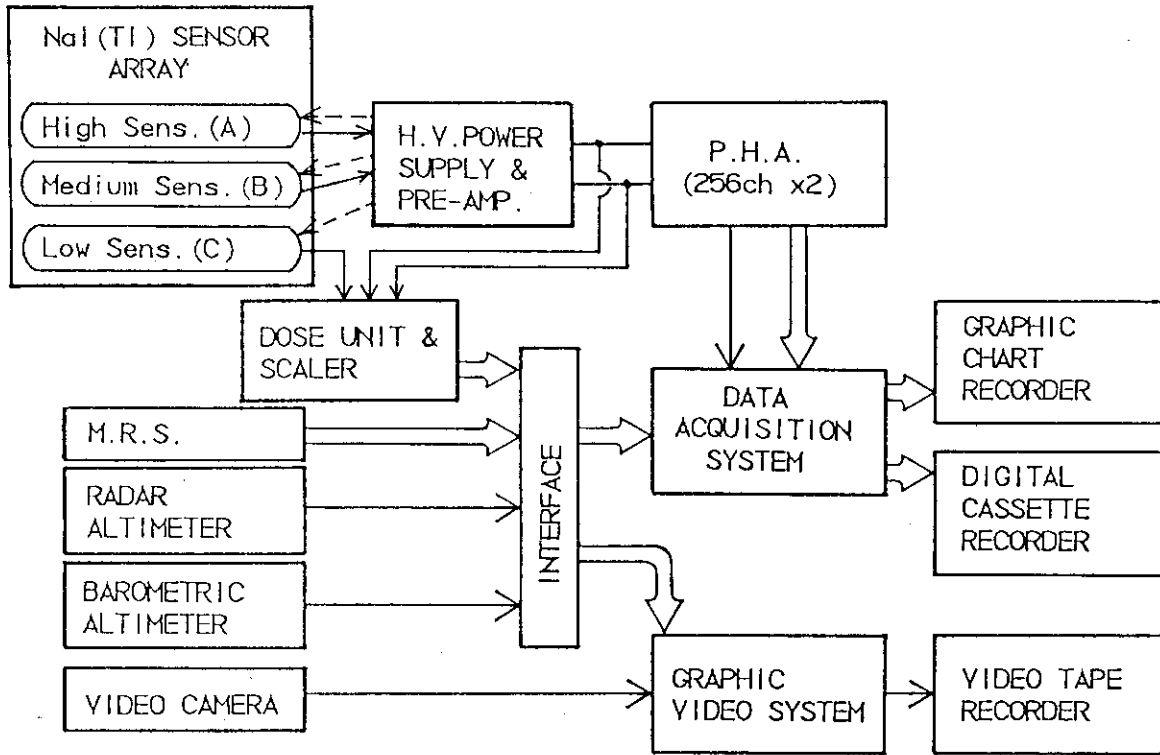


Fig. 3.18 Block diagram of practical aerial survey system.

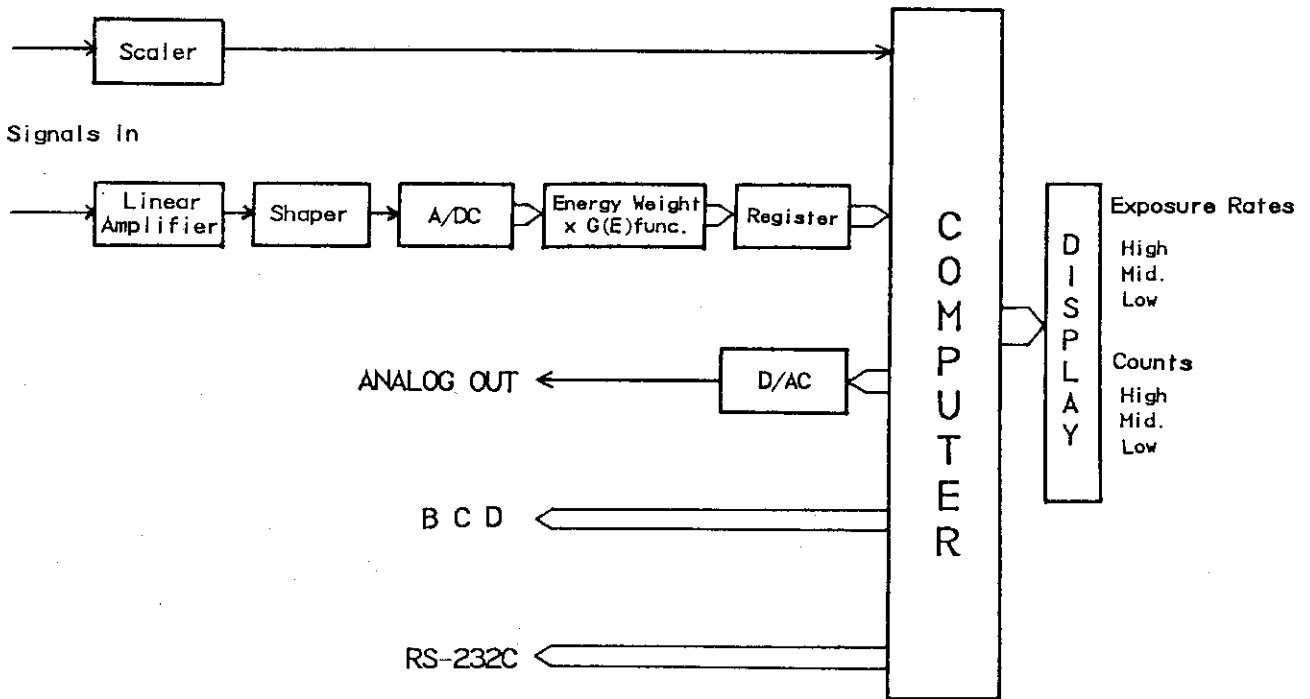


Fig. 3.19 Block diagram of dose unit.

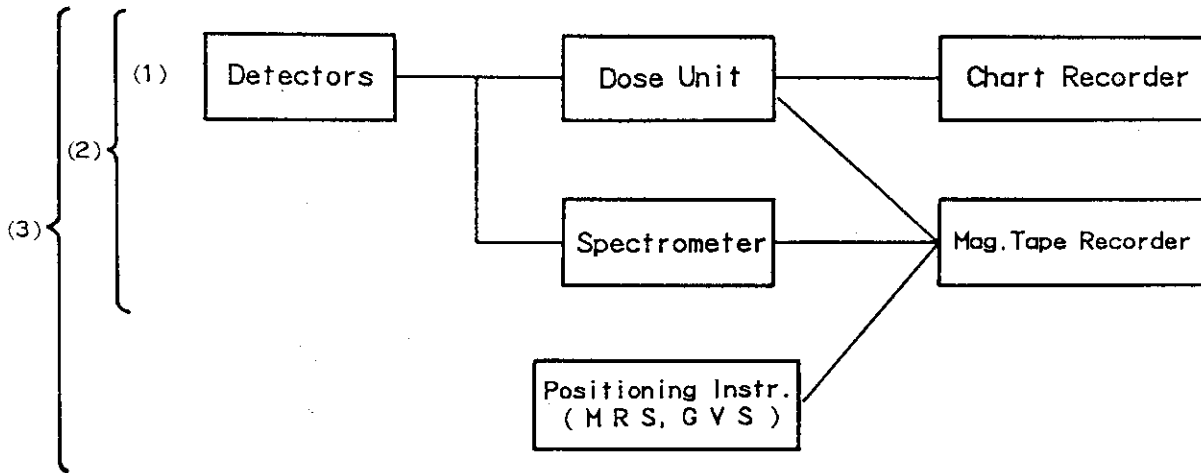


Fig. 3.20 Various combinations of units for the simplified model.



Photo 3.1 The Bell 206L-1 helicopter equipped with a large volume gamma detector.

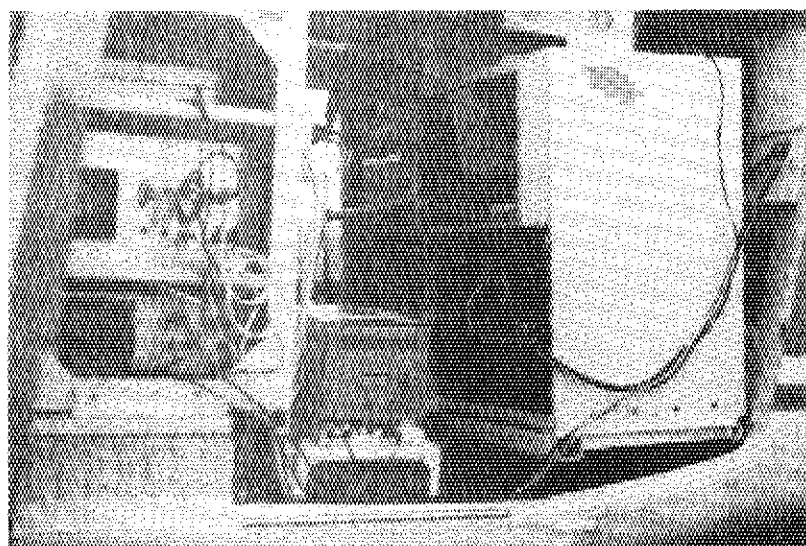


Photo 3.2 The internal view of helicopter arranged with survey instrument systems.

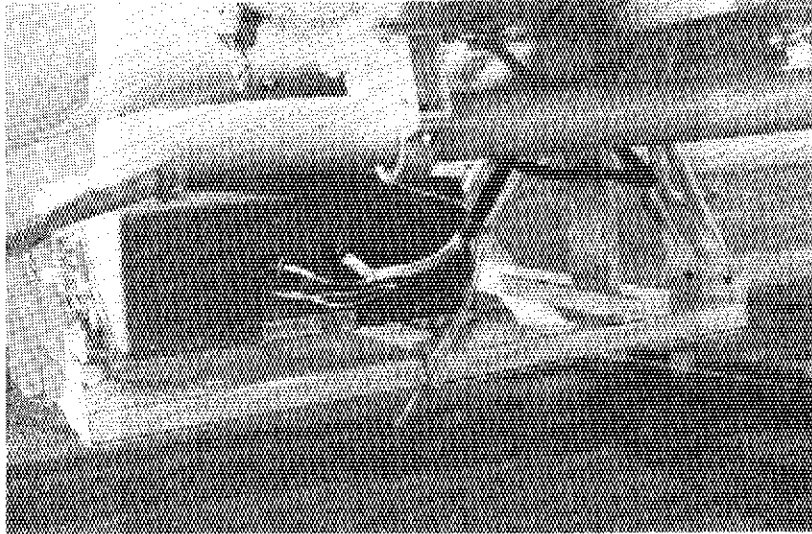


Photo 3.3 The sodium iodide detector providing 1024 cu. in. of active volume. This is attached to the outside of the helicopter fuselage. Visible cables are used for high voltage supply, heater power and preamplifier signals.

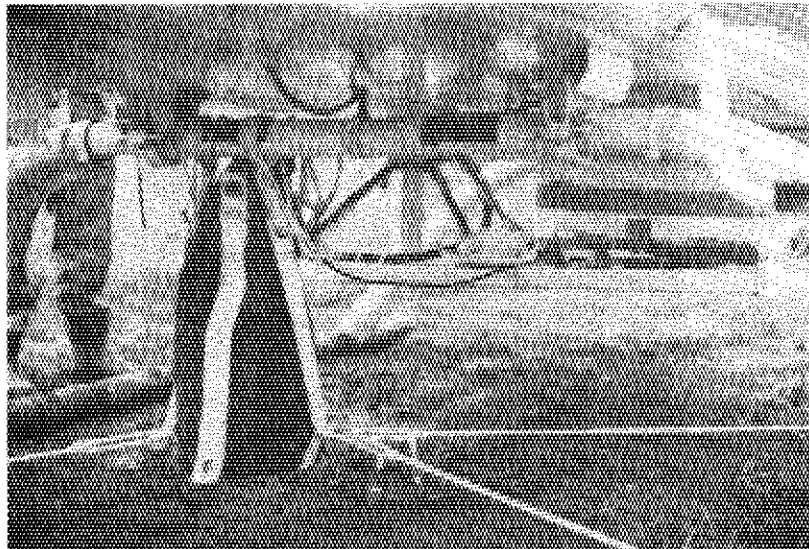


Photo 3.4 Detector fixed easily in a bag under the helicopter fuselage. The DET-1024 detector is set on a rear detector rack.

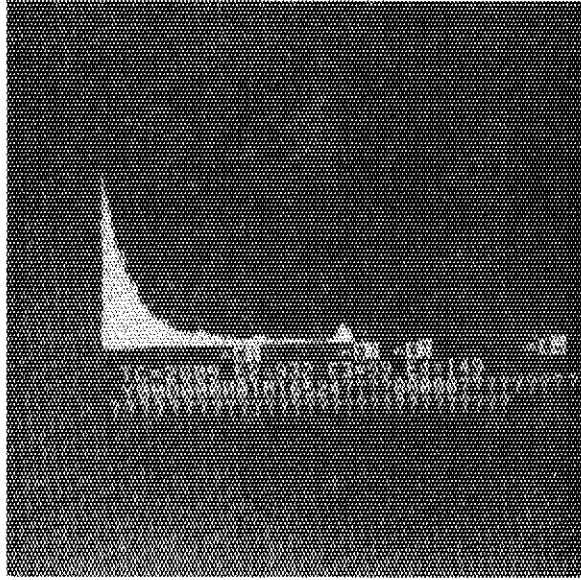


Photo 3.5 Energy spectrum on the CRT display in the spectrum/header mode.

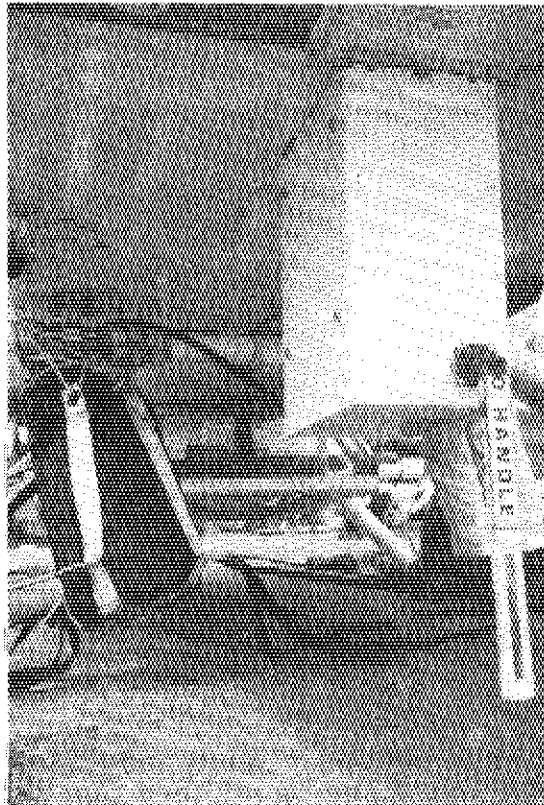


Photo 3.6 M.R.S. antenna on the helicopter.

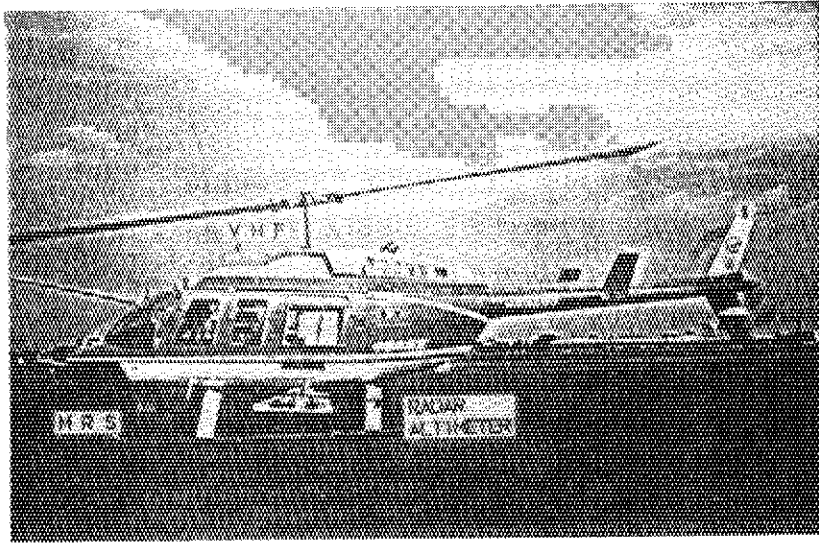


Photo 3.7 Arrangement of antennas for positioning.

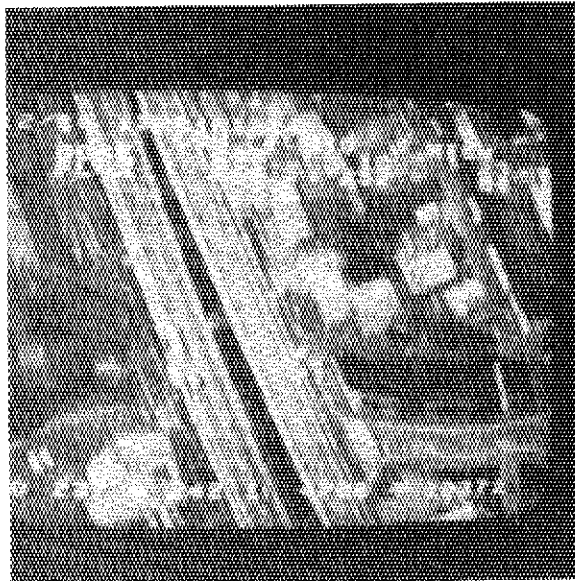


Photo 3.8 Scene on the CRT monitor from graphic video system.

4. 使用 NaI (T 1) シンチレーション検出器の特性

4.1 DET - 1024 検出器の方向依存性実験

DET-1024 検出器は、高い検出効率をもつ検出器として航空機サーベイで使用されるが、一方その特異な形状からガンマ線入射方向による感度の違いが大きい。環境ガンマ線を対象に測定評価するには、周囲からのガンマ線入射角度分布および、その入射角度による検出器の応答特性を考慮しておく必要がある。エネルギーの異なる各種ガンマ線源を用いて、DET-1024 検出器の各入射方向における感度特性実験を行った。

実験に際して、散乱線の影響を少しでも避けるために広くて平坦な野外を選び、原研東海研究所北部敷地において測定を行った。実験の機器配置・構成図を Fig. 4.1 に、実験風景を Photo 4.1 に示す。実験は シャドー・シールド法を用いて行った。つまり、ガンマ線源と検出器間に線源からの直達ガンマ線の遮蔽材として鉛ブロック（厚み 5 cm x 2 個）を置き、これより得る波高スペクトルをバックグラウンドとして鉛の遮蔽材がない時の波高スペクトルからの差し引きを行うことにより、周囲に存在する自然放射線の差し引き、さらに線源からの散乱ガンマ線成分を取り除いた波高スペクトルを得ることができる。線源高は地面から 1.7 m、また検出器へのガンマ線の入射が十分に平行と考えられるように線源と検出器間の距離は 5 m とした。

検出器を固定する架台は、検出器の重量が約 80 kg あるために、L 字アングルで頑丈に組まれており、検出器は架台上の回転台に載せられ、任意の角度の回転を受ける。また架台自体も回転できるように設計されている。これにより検出器を線源に対して自由な角度に設定できる。

方向感度試験は、Fig. 4.2 に示すように DET-1024 検出器の特徴ある 3 周回について行った。ここで、ヘリコプタに搭載したときの位置関係から、(A) を前後面、左右側面の中心を含む周回、(B) を上下面、左右側面の中心を含む周回、(C) を上下面、前後面の中心を含む周回とする。前面には光電子増倍管および前置増幅器が配置されている。

線源としては、 ^{137}Cs (116 μCi)、 ^{60}Co (100.3 μCi)、 ^{241}Am (195.2 μCi) の点線源を用いた。測定時間は 200 秒とした。

点線源から放出される直達光子フラックスは、

$$\Gamma^0(R) = \frac{S \cdot e^{-\mu R}}{4 \pi R^2} \quad (\text{Photons} / \text{cm}^2 \cdot \text{sec})$$

ここで、S = 線源強度 (Photons/sec)、

R = 線源と検出器の実効中心との距離 (cm)、

μ = 空気における線減衰係数 (cm^{-1})、

で表わされ、上下の最大面積面 ($40.6 \times 40.6 \text{ cm}^2$) における測定時間内の光子入射数 $\Gamma^0(R) \times (40.6 \times 40.6 \text{ cm}^2) \times 200 \text{ sec}$ (Photons) で規格化して、検出効率、ピーク効率を求めた。

Fig. 4.3 から Fig. 4.5 に ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{60}Co による感度特性の測定結果を示す。(A) 周回については、感度軸のフルスケールは 0.5 である。 ^{241}Am から放出されるガンマ線エネルギー 60 keV では、結晶のアルミニウムのハウジングによる吸収が大きく、最大面積面で検出効率が約 60% であり全体的に感度が低い。ここで特徴的なことは、(A) 周回における $\theta = 45^\circ, 315^\circ$ いわゆる検出器の角の部分では、幾何学的に視野角が一番大きくなり高い感度が予想される筈だが、最大感度部分の 20~30% 減じた感度が測定から得られたことである。このことは、先に述べたハウジングの厚みが入射角度により増したためによる吸収の効果が大きく利いたためであろう。また (B) 周回においては、本来感度は左右対称を示す筈だが、左右の歪が見られるのは、外部線源の散乱成分の揺らぎによる差し引き誤差によると思われる。さらに光電子増倍管等の部分の影響をみると、(A) と (C) 周回により分かるようにほとんど感度がないと言ってよい。 ^{137}Cs についてみると、662 keV のガンマ線による感度は、この 3 種の線源の中で一番高く、検出器形状に一番そくした感度を示していると思われる。(A) 周回における光電子増倍管と前面との感度比は約 60% であった。

最後に ^{60}Co からの 1.3 MeV のガンマ線エネルギーでは、検出効率が ^{137}Cs の場合と比べると少し落ち、全体的に丸みを帯びた感度を示す。逆に光電子増倍管では、先の比は約 70% を示し、エネルギーが高くなるにつれ透過率が大きくなることを示している。以上の結果から大雑把には、1 MeV 前後のガンマ線エネルギーに対して、上・下面の感度を 1 とすると、側面では 0.3 位、そのうち光電子増倍管側では 0.2 位であった。

4.2 DET-1024 検出器の高度減衰特性

DET-1024 NaI(Tl) 検出器は高い効率をもつが、その特異な形状からおこる強い方向特性をもつために、線量評価上の難しさを伴う。先にこの検出器の実験による方向感度依存性を示したが、さらに高度特性等を含めた計算による特性評価を行った。ここではモンテカルロ法を用いた MARTHA^{8) - 11)} コードにより検出器の応答関数を求め、これに環境ガンマ線輸送計算モンテカルロコード YURI¹¹⁾ により求めた放射線場を作用させることにより、高度特性を求める。なお自然の地殻ガンマ線の大部分をしめる ^{40}K , U-系列, Th-系列の 3 系列毎に検出器高度特性を示し、また一般的な実際の平坦地形上空における特性を求めた。さらに検出器の全計数、全吸収エネルギーと線量、フラックスとの関係をみた。

まず MARTHA コードによる検出器応答の計算における条件を述べる。本コードは円柱、球形の NaI(Tl) 結晶を対象としているために、Fig. 4.6 に示すような結晶体のモデル化を行う。DET-1024 検出器は 4" x 4" x 16" の角柱形結晶の 4 本の集合体で、16" x 16" x 4" の寸法をもった一体の結晶と考えられる。モデル化の際に、この結晶体を同体積、同厚みをもった円柱体(直径 18.05 inches, 厚さ 4 inches)モデルに置き換えて、以下計算を進めた。本コードでは、NaI(Tl) の結晶のほかに、その周囲の構造材の影響が考慮されており、上下面は厚さ 10mm, 側面は厚さ 20.2 mm のアルミニウムで置き換えて計算を行っている。DET-1024 検出器の構造材としては、各結晶を包んだアルミ容器、光電子増倍管、前置増幅器、それら載せる土台および保護カバーがある。これらの構造材の厳密な置き換えは避け、厚みの仮定に際しては、

検出器全体の重量から結晶重量を差し引いた重量から、上下、側面への妥当な厚み分配を行った。

ガンマ線の入射方向とエネルギーを変え、全計数、全吸収エネルギーの応答を逐次計算した。入射方向は、円柱軸に対し鉛直下より30°毎の分割を考え、0°~30°、30°~60°、60°~90°の方向入射について、それぞれの中央角度入射で代表させて計算した。検出器の上側方向に関しては、上下の対称性により代用できる。入射エネルギーは、0~3 MeVの範囲を10分割し、300 keV毎のエネルギー幅の中央エネルギーに対する各応答により代表させた。

次に、環境ガンマ線輸送計算モンテカルロプログラムYURIを使って、高度別、線源別にガンマ線場の角度分布、エネルギー分布を求める。

MARTHAにより求めたDET-1024検出器の単位入射光子あたりの計数、吸収エネルギーを $C(\theta, E)$ counts/photon, $E(\theta, E)$ MeV/photonとし、またYURIにより求めたガンマ線場を $\phi(\theta, E, h)$ photons/secとする。ここで、各パラメータ θ, E, h は以下に示す通りである。

θ : 入射角度メッシュ ($\theta = 1, 6$) 角度換算では15°~165°で30°毎

E : エネルギーメッシュ ($E = 1, 10$) エネルギー換算では150 keV ~ 2850 keVで300 keV毎

h : 対地高度 地上1 m ~ 1000 m内の11点

これにより、DET-1024検出器の計数の高度減衰特性を $R_c(h)$ 、吸収エネルギーの高度減衰特性を $R_e(h)$ とすると、各レスポンスは、

$$R_c(h) = \sum_{E=1}^{10} \sum_{\theta=1}^6 C(\theta, E) \cdot \phi(\theta, E, h)$$

$$R_e(h) = \sum_{E=1}^{10} \sum_{\theta=1}^6 E(\theta, E) \cdot \phi(\theta, E, h)$$

により表わされる。 $\phi(\theta, E, h)$ としては ^{40}K 、U-系列、Th-系列の自然3成分別の無限平面線源、および伊良湖畑地上空^{3), 5)}でのガンマ線場を考えた。

Fig. 4.7に全計数率の高度減衰特性、Fig. 4.8に全吸収エネルギーの高度減衰特性を示す。(a)においては、各3成分別、(b)では伊良湖畑地における計算結果を示す。縦軸は任意目盛りであるが、(a)における各成分毎の入力個数は、U-、Th-系列で $5 \times 10^5 / \text{m}^3$ 、 ^{40}K については $3.3 \times 10^5 / \text{m}^3$ である。(b)では、愛知県伊良湖畑地で採取した土壌の核種分析より推定された成分比を用い、 ^{40}K で $2.99 \times 10^6 / \text{m}^3$ 、U-系列で $7.09 \times 10^4 / \text{m}^3$ 、Th-系列で $1.65 \times 10^5 / \text{m}^3$ を入力個とした計算例を示す。これは、地上1 mでの実際値 $6.1 \mu\text{R}/\text{h}$ の 10^{-3} 倍の入力個にあたる。

さらに全計数率、全吸収エネルギーをガンマ線場のフラックス、線量率との比をとることにより考察を加える。ガンマ線場のフラックスとの関係を全計数率と全吸収エネルギーとで比をとると、Fig. 4.9とFig. 4.10に示すような高度特性の結果であった。この2つのグラフを比較すると、全計数率とで比をとった方が、高度によらずに一定値を示すことがわかる。また3成分別にみても、吸収エネルギーとの比は三者三様の変化を示すのに比べると三者とも同じ傾向

を示す。したがって、高度100 m位から低くなるにつれ比がやや高くなる傾向があるが、 $10.5 \text{ m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1} / \text{counts} \cdot \text{sec}^{-1}$ の変換係数を全計数率に掛けることによりガンマ線場のフラックスが高度によらずに簡易に求まる。

次にガンマ線線量率との関係を同様にみた結果を Fig. 4.11 と Fig. 4.12 に示す。高度による変化傾向は二者とも似ているが、比の変化の割合をみると吸収エネルギーとの比のほうが高度依存による変化が小さい。また、各成分毎の高度減衰も U-, Th-系列ではほぼ同じで、 ^{40}K の減衰もより似かよっており、成分比による変動も最大10%以内におさえられる。したがって、DET-1024 検出器において線量率を算出するには、全吸収エネルギーにある変換係数を掛ける簡便法がとれる。その係数も高度150 mではほぼ飽和しているとみてよく、換算値は150 mで、 $1.79 \times 10^{-3} (\mu\text{R}/\text{h}) / (\text{MeV}/\text{s})$ 、300mで、 $1.72 \times 10^{-3} (\mu\text{R}/\text{h}) / (\text{MeV}/\text{s})$ となり、この二者の高度による違いは約4%である。

なお実験による線量換算係数値は、 $2.1 \times 10^{-3} (\mu\text{R}/\text{h}) / (\text{MeV}/\text{s})$ であり、絶対値比較で17%高であるが、良く一致しているといつて良い。

4.3 使用検出器における線量換算用 G(E) 関数の決定

DET-1024 検出器を除く汎用型の検出器の線量評価には、G(E) 関数法が用いられる。ここでは、3" ϕ x 3", 4" ϕ x 4", 5" ϕ x 4", 3" ϕ 球, 5" ϕ 球の NaI(Tl) 検出器の5種類についてG(E) 関数を求めた。実験により測定されたパルス波高スペクトルから直接に線量換算ができる演算子であるG(E) 関数については、既に詳しい報告がなされている¹²⁾。ここでは、その既略を述べるに留める。

NaI(Tl)シンチレーション検出器については、各種の単色エネルギー E_0 のガンマ線場において、次式を満足するG(E) 関数が存在する。

$$\int_{E_{\min}}^{E_{\max}} n(E, E_0) \cdot G(E) \cdot dE = D(E_0) \quad \dots (1)$$

ここで、 $n(E, E_0)$ は、単色エネルギー E_0 のガンマ線場でのパルス波高スペクトル

$D(E_0)$ は、単色エネルギー E_0 のガンマ線場での照射線量率

E_{\min} , E_{\max} は、対象とするガンマ線エネルギー範囲の下限、上限エネルギー値を表わす。ここで、 $n(E, E_0)$ として測定系により得られる波高スペクトルを用いずに、前出のモンテカルロ法を用いたMARTHAによる応答関数を用いた。この計算による応答関数は、構造材の影響、光電子増倍管による変動、入射エネルギーによる発光効率の違いが考慮されており、実験により得られる結果と良く一致していることが確認されている。NaI(Tl) 検出器の計算条件を Table 4.1 に示す。

(1)式において、20次前後の多項式で近似したG(E) 関数に対し、25種類の入射エネルギー E_0 に対する標準スペクトルを用意し、これらの連立式より、エネルギー全体で誤差のばらつきが少ない多項式解を選択することによりG(E) 関数を決定した。ガンマ線のエネルギー範囲は、環境のガンマ線を対象としていることから、50 keV から 3 MeV までとして、5 keV 毎に

算出した。

決定した5種類のG(E)関数をFig.4.13に示す。ここで点線は球形の検出器のG(E)関数を表わす。球形の場合、円筒形に比べて高エネルギー部で体積の違いから、値が大きくなる傾向を示している。またこれらのG(E)関数値をTable 4.2からTable 4.6に示す。

測定スペクトルからの全線量換算は、測定されたパルス波高スペクトル分布をN(E)とすると、これに対応する全線量Dは次式により求められる。

$$D = \int_{E_{min}}^{E_{max}} N(E) \cdot G(E) \cdot dE \quad \dots (2)$$

N(E)は実際には連続関数ではなく、波高分析器により決まるチャンネル幅での積算カウント値の数列として得られる。したがって、各チャンネルの中央エネルギー値におけるG(E)値の数列を揃えておくことにより、全線量Dは次式の(3)により求められる。

$$D = \sum_{n=1}^{NCHAN} N(E_n) \cdot G(E_n) \quad \dots (3)$$

ここで、NCHANは、波高分析器の総チャンネル数

E(E_n), G(E_n)は、nチャンネルにおけるカウント、G関数値を表わす。下限のディスクリミネーション・エネルギー以下でのG(E)関数値は0とする。

Table 4.1 Dimensions of NaI(Tl) detectors for a Monte Carlo calculation.

CRYSTAL SIZE	REFLECTOR THICKNESS(mm)		Al CAN THICKNESS(mm)
	FRONT	SIDE	
3"x3"	3.3	2.0	0.8
4"x4"	9.6	3.5	2.0
5"x4"	9.6	3.5	2.0
3"φ		1.5	0.8
5"φ		1.5	0.8

Table 4.2 Numerical table of G(E) function for a 3"x3" cylindrical NaI(Tl) scintillation detector.

E(KEV)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
5.6182E-05	5.1216E-05	4.8233E-05	4.6764E-05	4.6502E-05	4.7212E-05	4.8701E-05	5.0807E-05	5.3396E-05	5.6355E-05	6.4001E-05
100	5.9592E-05	6.3036E-05	6.6630E-05	7.0327E-05	7.4096E-05	7.7911E-05	8.1757E-05	8.5620E-05	8.9494E-05	9.3377E-05
200	9.7267E-05	1.0117E-04	1.0508E-04	1.0900E-04	1.1295E-04	1.1692E-04	1.2093E-04	1.2497E-04	1.2905E-04	1.3318E-04
300	1.3736E-04	1.4159E-04	1.4589E-04	1.5024E-04	1.5467E-04	1.5916E-04	1.6373E-04	1.6837E-04	1.7308E-04	1.7788E-04
400	1.8275E-04	1.8770E-04	1.9273E-04	1.9785E-04	2.0304E-04	2.0832E-04	2.1367E-04	2.1911E-04	2.2462E-04	2.3022E-04
500	2.3590E-04	2.4165E-04	2.4747E-04	2.5338E-04	2.5935E-04	2.6540E-04	2.7152E-04	2.7771E-04	2.8397E-04	2.9029E-04
600	2.9668E-04	3.0313E-04	3.0965E-04	3.1622E-04	3.2286E-04	3.2954E-04	3.3629E-04	3.4309E-04	3.4993E-04	3.5684E-04
700	3.6378E-04	3.7078E-04	3.7782E-04	3.8490E-04	3.9203E-04	3.9919E-04	4.0640E-04	4.1364E-04	4.2092E-04	4.2823E-04
800	4.3558E-04	4.4296E-04	4.5037E-04	4.5780E-04	4.6527E-04	4.7276E-04	4.8027E-04	4.8781E-04	4.9538E-04	5.0296E-04
900	5.1057E-04	5.1819E-04	5.2583E-04	5.3349E-04	5.4116E-04	5.4884E-04	5.5655E-04	5.6426E-04	5.7199E-04	5.7972E-04
1000	5.8747E-04	5.9522E-04	6.0299E-04	6.1076E-04	6.1853E-04	6.2631E-04	6.3410E-04	6.4189E-04	6.4969E-04	6.5748E-04
1100	6.6528E-04	6.7308E-04	6.8088E-04	6.8868E-04	6.9648E-04	7.0427E-04	7.1207E-04	7.1986E-04	7.2765E-04	7.3544E-04
1200	7.4322E-04	7.5100E-04	7.5877E-04	7.6654E-04	7.7430E-04	7.8205E-04	7.8980E-04	7.9754E-04	8.0527E-04	8.1299E-04
1300	8.2070E-04	8.2841E-04	8.3611E-04	8.4379E-04	8.5147E-04	8.5913E-04	8.6679E-04	8.7443E-04	8.8206E-04	8.8968E-04
1400	8.9729E-04	9.0489E-04	9.1247E-04	9.2005E-04	9.2760E-04	9.3515E-04	9.4268E-04	9.5020E-04	9.5771E-04	9.6520E-04
1500	9.7267E-04	9.8014E-04	9.8758E-04	9.9502E-04	1.0024E-03	1.0098E-03	1.0172E-03	1.0246E-03	1.0320E-03	1.0393E-03
1600	1.0466E-03	1.0539E-03	1.0612E-03	1.0685E-03	1.0758E-03	1.0830E-03	1.0902E-03	1.0975E-03	1.1046E-03	1.1118E-03
1700	1.1190E-03	1.1261E-03	1.1333E-03	1.1404E-03	1.1475E-03	1.1545E-03	1.1616E-03	1.1686E-03	1.1757E-03	1.1827E-03
1800	1.1897E-03	1.1966E-03	1.2036E-03	1.2105E-03	1.2175E-03	1.2243E-03	1.2312E-03	1.2381E-03	1.2450E-03	1.2518E-03
1900	1.2586E-03	1.2654E-03	1.2722E-03	1.2789E-03	1.2857E-03	1.2924E-03	1.2991E-03	1.3058E-03	1.3125E-03	1.3191E-03
2000	1.3258E-03	1.3324E-03	1.3390E-03	1.3456E-03	1.3521E-03	1.3587E-03	1.3652E-03	1.3717E-03	1.3782E-03	1.3847E-03
2100	1.3912E-03	1.3976E-03	1.4040E-03	1.4104E-03	1.4168E-03	1.4232E-03	1.4296E-03	1.4359E-03	1.4422E-03	1.4485E-03
2200	1.4548E-03	1.4611E-03	1.4673E-03	1.4735E-03	1.4798E-03	1.4860E-03	1.4921E-03	1.4983E-03	1.5045E-03	1.5106E-03
2300	1.5167E-03	1.5228E-03	1.5289E-03	1.5349E-03	1.5410E-03	1.5470E-03	1.5530E-03	1.5590E-03	1.5650E-03	1.5710E-03
2400	1.5769E-03	1.5828E-03	1.5887E-03	1.5946E-03	1.6005E-03	1.6064E-03	1.6122E-03	1.6181E-03	1.6239E-03	1.6297E-03
2500	1.6354E-03	1.6412E-03	1.6469E-03	1.6527E-03	1.6584E-03	1.6641E-03	1.6698E-03	1.6755E-03	1.6811E-03	1.6867E-03
2600	1.6924E-03	1.6980E-03	1.7036E-03	1.7091E-03	1.7147E-03	1.7202E-03	1.7258E-03	1.7313E-03	1.7368E-03	1.7423E-03
2700	1.7477E-03	1.7532E-03	1.7586E-03	1.7640E-03	1.7695E-03	1.7749E-03	1.7802E-03	1.7856E-03	1.7909E-03	1.7963E-03
2800	1.8016E-03	1.8069E-03	1.8122E-03	1.8175E-03	1.8227E-03	1.8280E-03	1.8332E-03	1.8384E-03	1.8436E-03	1.8488E-03
2900	1.8540E-03	1.8592E-03	1.8643E-03	1.8694E-03	1.8746E-03	1.8797E-03	1.8848E-03	1.8898E-03	1.8949E-03	1.8999E-03
3000	1.9050E-03	1.9100E-03	1.9150E-03	1.9200E-03	1.9250E-03	1.9300E-03	1.9349E-03	1.9399E-03	1.9448E-03	1.9497E-03
3100	1.9546E-03	1.9595E-03	1.9644E-03	1.9693E-03	1.9741E-03	1.9790E-03	1.9838E-03	1.9886E-03	1.9934E-03	1.9982E-03
3200	2.0030E-03	2.0078E-03	2.0125E-03	2.0173E-03	2.0220E-03	2.0267E-03	2.0314E-03	2.0361E-03	2.0408E-03	2.0455E-03
3300	2.0501E-03	2.0547E-03	2.0594E-03	2.0640E-03	2.0686E-03	2.0732E-03	2.0778E-03	2.0824E-03	2.0869E-03	2.0915E-03
3400	2.0960E-03	2.1006E-03	2.1051E-03	2.1096E-03	2.1141E-03	2.1186E-03	2.1230E-03	2.1275E-03	2.1319E-03	2.1364E-03
3500	2.1408E-03	2.1452E-03	2.1496E-03	2.1540E-03	2.1584E-03	2.1628E-03	2.1671E-03	2.1715E-03	2.1758E-03	2.1802E-03
3600	2.1845E-03	2.1888E-03	2.1931E-03	2.1974E-03	2.2017E-03	2.2059E-03	2.2102E-03	2.2144E-03	2.2187E-03	2.2229E-03
3700	2.2271E-03	2.2313E-03	2.2355E-03	2.2397E-03	2.2439E-03	2.2481E-03	2.2522E-03	2.2564E-03	2.2605E-03	2.2646E-03
3800	2.2688E-03	2.2729E-03	2.2770E-03	2.2811E-03	2.2852E-03	2.2892E-03	2.2933E-03	2.2973E-03	2.3014E-03	2.3054E-03
3900	2.3094E-03	2.3135E-03	2.3175E-03	2.3215E-03	2.3255E-03	2.3295E-03	2.3334E-03	2.3374E-03	2.3413E-03	2.3453E-03
4000	2.3492E-03	2.3532E-03	2.3571E-03	2.3610E-03	2.3649E-03	2.3688E-03	2.3727E-03	2.3766E-03	2.3804E-03	2.3843E-03
4100	2.3881E-03	2.3920E-03	2.3958E-03	2.3996E-03	2.4035E-03	2.4073E-03	2.4111E-03	2.4149E-03	2.4187E-03	2.4225E-03
4200	2.4262E-03	2.4300E-03	2.4338E-03	2.4375E-03	2.4412E-03	2.4450E-03	2.4487E-03	2.4524E-03	2.4561E-03	2.4598E-03
4300	2.4635E-03	2.4672E-03	2.4709E-03	2.4746E-03	2.4782E-03	2.4819E-03	2.4856E-03	2.4892E-03	2.4928E-03	2.4965E-03
4400	2.5001E-03	2.5037E-03	2.5073E-03	2.5109E-03	2.5145E-03	2.5181E-03	2.5217E-03	2.5252E-03	2.5288E-03	2.5324E-03
4500	2.5359E-03	2.5395E-03	2.5430E-03	2.5466E-03	2.5501E-03	2.5536E-03	2.5571E-03	2.5606E-03	2.5641E-03	2.5676E-03
4600	2.5711E-03	2.5746E-03	2.5781E-03	2.5815E-03	2.5850E-03	2.5884E-03	2.5919E-03	2.5953E-03	2.5988E-03	2.6022E-03
4700	2.6056E-03	2.6090E-03	2.6125E-03	2.6159E-03	2.6193E-03	2.6227E-03	2.6261E-03	2.6294E-03	2.6328E-03	2.6362E-03
4800	2.6396E-03	2.6429E-03	2.6463E-03	2.6496E-03	2.6530E-03	2.6563E-03	2.6596E-03	2.6630E-03	2.6663E-03	2.6696E-03
4900	2.6729E-03	2.6762E-03	2.6795E-03	2.6828E-03	2.6861E-03	2.6894E-03	2.6927E-03	2.6959E-03	2.6992E-03	2.7024E-03
5000	2.7057E-03	2.7090E-03	2.7122E-03	2.7155E-03	2.7187E-03	2.7219E-03	2.7251E-03	2.7284E-03	2.7316E-03	2.7348E-03
5100	2.7380E-03	2.7412E-03	2.7444E-03	2.7476E-03	2.7508E-03	2.7539E-03	2.7571E-03	2.7603E-03	2.7635E-03	2.7666E-03
5200	2.7698E-03	2.7730E-03	2.7761E-03	2.7792E-03	2.7824E-03	2.7855E-03	2.7887E-03	2.7918E-03	2.7949E-03	2.7980E-03
5300	2.8011E-03	2.8042E-03	2.8073E-03	2.8104E-03	2.8135E-03	2.8166E-03	2.8197E-03	2.8228E-03	2.8259E-03	2.8290E-03
5400	2.8320E-03	2.8351E-03	2.8382E-03	2.8412E-03	2.8443E-03	2.8473E-03	2.8504E-03	2.8534E-03	2.8565E-03	2.8595E-03
5500	2.8625E-03	2.8656E-03	2.8686E-03	2.8716E-03	2.8746E-03	2.8776E-03	2.8806E-03	2.8836E-03	2.8866E-03	2.8896E-03
5600	2.8926E-03	2.8956E-03	2.8986E-03	2.9016E-03	2.9046E-03	2.9075E-03	2.9105E-03	2.9135E-03	2.9164E-03	2.9194E-03
5700	2.9224E-03	2.9253E-03	2.9283E-03	2.9312E-03	2.9342E-03	2.9371E-03	2.9401E-03	2.9430E-03	2.9459E-03	2.9488E-03
5800	2.9518E-03	2.9547E-03	2.9576E-03	2.9605E-03	2.9634E-03	2.9663E-03	2.9693E-03	2.9722E-03	2.9751E-03	2.9780E-03

Table 4.4 Numerical table of G(E) function for a 4"x4" cylindrical NaI(Tl) scintillation detector.

E(KEY)	5 55	10 60	15 65	20 70	25 75	30 80	35 85	40 90	45 95	50 100
0	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	4.5944E-05
100	3.8321E-05	3.3667E-05	3.0818E-05	2.9232E-05	2.8602E-05	2.8715E-05	2.9411E-05	3.0556E-05	3.2044E-05	3.3787E-05
200	3.5716E-05	3.7776E-05	3.9925E-05	4.2132E-05	4.4374E-05	4.6634E-05	4.8902E-05	5.1170E-05	5.3435E-05	5.5695E-05
300	5.7950E-05	6.0201E-05	6.2452E-05	6.4704E-05	6.6961E-05	6.9226E-05	7.1501E-05	7.3790E-05	7.6095E-05	7.8420E-05
400	8.0765E-05	8.3134E-05	8.5529E-05	8.7950E-05	9.0399E-05	9.2877E-05	9.5385E-05	9.7923E-05	1.0049E-04	1.0309E-04
500	1.0572E-04	1.0839E-04	1.1108E-04	1.1381E-04	1.1656E-04	1.1935E-04	1.2216E-04	1.2501E-04	1.2788E-04	1.3078E-04
600	1.3371E-04	1.3666E-04	1.3964E-04	1.4264E-04	1.4567E-04	1.4872E-04	1.5179E-04	1.5488E-04	1.5799E-04	1.6113E-04
700	1.6428E-04	1.6745E-04	1.7064E-04	1.7384E-04	1.7706E-04	1.8029E-04	1.8354E-04	1.8681E-04	1.9008E-04	1.9337E-04
800	1.9667E-04	1.9998E-04	2.0330E-04	2.0663E-04	2.0997E-04	2.1332E-04	2.1668E-04	2.2005E-04	2.2342E-04	2.2680E-04
900	2.3019E-04	2.3358E-04	2.3697E-04	2.4038E-04	2.4378E-04	2.4719E-04	2.5061E-04	2.5403E-04	2.5745E-04	2.6087E-04
1000	2.6430E-04	2.6773E-04	2.7116E-04	2.7460E-04	2.7803E-04	2.8147E-04	2.8490E-04	2.8834E-04	2.9178E-04	2.9522E-04
1100	2.9865E-04	3.0209E-04	3.0553E-04	3.0897E-04	3.1241E-04	3.1584E-04	3.1928E-04	3.2271E-04	3.2614E-04	3.2958E-04
1200	3.3301E-04	3.3643E-04	3.3986E-04	3.4328E-04	3.4671E-04	3.5013E-04	3.5354E-04	3.5696E-04	3.6037E-04	3.6378E-04
1300	3.6719E-04	3.7059E-04	3.7400E-04	3.7740E-04	3.8079E-04	3.8419E-04	3.8758E-04	3.9096E-04	3.9435E-04	3.9773E-04
1400	4.0110E-04	4.0448E-04	4.0785E-04	4.1121E-04	4.1458E-04	4.1793E-04	4.2129E-04	4.2464E-04	4.2799E-04	4.3133E-04
1500	4.3467E-04	4.3801E-04	4.4134E-04	4.4467E-04	4.4799E-04	4.5131E-04	4.5463E-04	4.5794E-04	4.6124E-04	4.6455E-04
1600	4.6784E-04	4.7114E-04	4.7443E-04	4.7771E-04	4.8099E-04	4.8426E-04	4.8754E-04	4.9080E-04	4.9406E-04	4.9732E-04
1700	5.0057E-04	5.0382E-04	5.0706E-04	5.1030E-04	5.1354E-04	5.1676E-04	5.1999E-04	5.2321E-04	5.2642E-04	5.2963E-04
1800	5.3283E-04	5.3603E-04	5.3923E-04	5.4242E-04	5.4560E-04	5.4878E-04	5.5195E-04	5.5512E-04	5.5828E-04	5.6144E-04
1900	5.6459E-04	5.6774E-04	5.7088E-04	5.7402E-04	5.7715E-04	5.8028E-04	5.8340E-04	5.8652E-04	5.8963E-04	5.9273E-04
2000	5.9583E-04	5.9893E-04	6.0202E-04	6.0510E-04	6.0818E-04	6.1125E-04	6.1432E-04	6.1738E-04	6.2043E-04	6.2348E-04
2100	6.2653E-04	6.2957E-04	6.3260E-04	6.3563E-04	6.3865E-04	6.4166E-04	6.4467E-04	6.4768E-04	6.5068E-04	6.5367E-04
2200	6.5666E-04	6.5964E-04	6.6262E-04	6.6559E-04	6.6855E-04	6.7151E-04	6.7446E-04	6.7741E-04	6.8035E-04	6.8328E-04
2300	6.8621E-04	6.8913E-04	6.9205E-04	6.9496E-04	6.9787E-04	7.0077E-04	7.0366E-04	7.0655E-04	7.0943E-04	7.1230E-04
2400	7.1517E-04	7.1804E-04	7.2089E-04	7.2374E-04	7.2659E-04	7.2943E-04	7.3226E-04	7.3509E-04	7.3791E-04	7.4072E-04
2500	7.4353E-04	7.4633E-04	7.4913E-04	7.5192E-04	7.5470E-04	7.5748E-04	7.6025E-04	7.6302E-04	7.6578E-04	7.6853E-04
2600	7.7128E-04	7.7402E-04	7.7675E-04	7.7948E-04	7.8220E-04	7.8492E-04	7.8763E-04	7.9033E-04	7.9303E-04	7.9572E-04
2700	7.9840E-04	8.0108E-04	8.0375E-04	8.0642E-04	8.0908E-04	8.1173E-04	8.1438E-04	8.1702E-04	8.1966E-04	8.2229E-04
2800	8.2491E-04	8.2753E-04	8.3014E-04	8.3274E-04	8.3534E-04	8.3793E-04	8.4051E-04	8.4309E-04	8.4567E-04	8.4823E-04
2900	8.5079E-04	8.5335E-04	8.5589E-04	8.5843E-04	8.6097E-04	8.6350E-04	8.6602E-04	8.6854E-04	8.7105E-04	8.7356E-04
3000	8.7605E-04	8.7855E-04	8.8103E-04	8.8351E-04	8.8599E-04	8.8845E-04	8.9092E-04	8.9337E-04	8.9582E-04	8.9826E-04
3100	9.0070E-04	9.0313E-04	9.0555E-04	9.0797E-04	9.1039E-04	9.1279E-04	9.1519E-04	9.1759E-04	9.1998E-04	9.2236E-04
3200	9.2473E-04	9.2710E-04	9.2947E-04	9.3183E-04	9.3418E-04	9.3652E-04	9.3886E-04	9.4120E-04	9.4353E-04	9.4585E-04
3300	9.4817E-04	9.5048E-04	9.5278E-04	9.5508E-04	9.5737E-04	9.5966E-04	9.6194E-04	9.6421E-04	9.6648E-04	9.6875E-04
3400	9.7100E-04	9.7325E-04	9.7550E-04	9.7774E-04	9.7998E-04	9.8220E-04	9.8443E-04	9.8664E-04	9.8885E-04	9.9106E-04
3500	9.9326E-04	9.9545E-04	9.9764E-04	9.9983E-04	1.0020E-03	1.0042E-03	1.0063E-03	1.0085E-03	1.0107E-03	1.0128E-03
3600	1.0149E-03	1.0171E-03	1.0192E-03	1.0213E-03	1.0235E-03	1.0256E-03	1.0277E-03	1.0298E-03	1.0319E-03	1.0340E-03
3700	1.0361E-03	1.0382E-03	1.0402E-03	1.0423E-03	1.0444E-03	1.0464E-03	1.0485E-03	1.0506E-03	1.0526E-03	1.0546E-03
3800	1.0567E-03	1.0587E-03	1.0607E-03	1.0627E-03	1.0648E-03	1.0668E-03	1.0688E-03	1.0708E-03	1.0728E-03	1.0748E-03
3900	1.0767E-03	1.0787E-03	1.0807E-03	1.0827E-03	1.0846E-03	1.0866E-03	1.0885E-03	1.0905E-03	1.0924E-03	1.0944E-03
4000	1.0963E-03	1.0982E-03	1.1002E-03	1.1021E-03	1.1040E-03	1.1059E-03	1.1078E-03	1.1097E-03	1.1116E-03	1.1135E-03
4100	1.1154E-03	1.1173E-03	1.1191E-03	1.1210E-03	1.1229E-03	1.1247E-03	1.1266E-03	1.1285E-03	1.1303E-03	1.1321E-03
4200	1.1340E-03	1.1358E-03	1.1377E-03	1.1395E-03	1.1413E-03	1.1431E-03	1.1449E-03	1.1468E-03	1.1486E-03	1.1504E-03
4300	1.1522E-03	1.1539E-03	1.1557E-03	1.1575E-03	1.1593E-03	1.1611E-03	1.1628E-03	1.1646E-03	1.1664E-03	1.1681E-03
4400	1.1699E-03	1.1716E-03	1.1734E-03	1.1751E-03	1.1768E-03	1.1786E-03	1.1803E-03	1.1820E-03	1.1838E-03	1.1855E-03
4500	1.1872E-03	1.1889E-03	1.1906E-03	1.1923E-03	1.1940E-03	1.1957E-03	1.1974E-03	1.1991E-03	1.2008E-03	1.2024E-03
4600	1.2041E-03	1.2058E-03	1.2075E-03	1.2091E-03	1.2108E-03	1.2124E-03	1.2141E-03	1.2157E-03	1.2174E-03	1.2190E-03
4700	1.2207E-03	1.2223E-03	1.2239E-03	1.2256E-03	1.2272E-03	1.2288E-03	1.2304E-03	1.2320E-03	1.2336E-03	1.2353E-03
4800	1.2369E-03	1.2385E-03	1.2401E-03	1.2416E-03	1.2432E-03	1.2448E-03	1.2464E-03	1.2480E-03	1.2496E-03	1.2511E-03
4900	1.2527E-03	1.2543E-03	1.2559E-03	1.2574E-03	1.2590E-03	1.2605E-03	1.2621E-03	1.2636E-03	1.2652E-03	1.2667E-03
5000	1.2683E-03	1.2698E-03	1.2713E-03	1.2729E-03	1.2744E-03	1.2759E-03	1.2775E-03	1.2790E-03	1.2805E-03	1.2820E-03
5100	1.2835E-03	1.2850E-03	1.2865E-03	1.2880E-03	1.2895E-03	1.2910E-03	1.2925E-03	1.2940E-03	1.2955E-03	1.2970E-03
5200	1.2985E-03	1.3000E-03	1.3014E-03	1.3029E-03	1.3044E-03	1.3059E-03	1.3073E-03	1.3088E-03	1.3103E-03	1.3117E-03
5300	1.3132E-03	1.3146E-03	1.3161E-03	1.3175E-03	1.3190E-03	1.3204E-03	1.3219E-03	1.3233E-03	1.3248E-03	1.3262E-03
5400	1.3276E-03	1.3291E-03	1.3305E-03	1.3319E-03	1.3334E-03	1.3348E-03	1.3362E-03	1.3376E-03	1.3391E-03	1.3405E-03
5500	1.3419E-03	1.3433E-03	1.3447E-03	1.3461E-03	1.3475E-03	1.3489E-03	1.3503E-03	1.3517E-03	1.3531E-03	1.3545E-03
5600	1.3559E-03	1.3573E-03	1.3587E-03	1.3601E-03	1.3614E-03	1.3628E-03	1.3642E-03	1.3656E-03	1.3670E-03	1.3683E-03
5700	1.3697E-03	1.3711E-03	1.3725E-03	1.3738E-03	1.3752E-03	1.3766E-03	1.3779E-03	1.3793E-03	1.3807E-03	1.3820E-03
5800	1.3834E-03	1.3847E-03	1.3861E-03	1.3874E-03	1.3888E-03	1.3901E-03	1.3915E-03	1.3928E-03	1.3942E-03	1.3955E-03
5900	1.3968E-03	1.3982E-03	1.3995E-03	1.4009E-03	1.4022E-03	1.4035E-03	1.4049E-03	1.4062E-03	1.4075E-03	1.4088E-03

Table 4.5 Numerical table of G(E) function for a 5"x4" cylindrical NaI(Tl) scintillation detector.

E(KEV)	5 55	10 60	15 65	20 70	25 75	30 80	35 85	40 90	45 95	50 100
0	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	2.9679E-05
100	2.4657E-05	2.1658E-05	1.9882E-05	1.8931E-05	1.8582E-05	1.8689E-05	1.9145E-05	1.9870E-05	2.0801E-05	2.1389E-05
200	2.3093E-05	2.4383E-05	2.5735E-05	2.7130E-05	2.8555E-05	2.9999E-05	3.1455E-05	3.2917E-05	3.4384E-05	3.5852E-05
300	3.7321E-05	3.8790E-05	4.0261E-05	4.1733E-05	4.3207E-05	4.4685E-05	4.6169E-05	4.7658E-05	4.9155E-05	5.0660E-05
400	5.2174E-05	5.3699E-05	5.5236E-05	5.6785E-05	5.8346E-05	5.9921E-05	6.1510E-05	6.3114E-05	6.4732E-05	6.6365E-05
500	6.8012E-05	6.9676E-05	7.1354E-05	7.3048E-05	7.4757E-05	7.6480E-05	7.8219E-05	7.9972E-05	8.1740E-05	8.3522E-05
600	8.5318E-05	8.7127E-05	8.8950E-05	9.0786E-05	9.2634E-05	9.4495E-05	9.6368E-05	9.8253E-05	1.0015E-04	1.0206E-04
700	1.0397E-04	1.0590E-04	1.0784E-04	1.0979E-04	1.1174E-04	1.1371E-04	1.1568E-04	1.1766E-04	1.1965E-04	1.2165E-04
800	1.2365E-04	1.2566E-04	1.2768E-04	1.2971E-04	1.3174E-04	1.3377E-04	1.3582E-04	1.3786E-04	1.3992E-04	1.4197E-04
900	1.4403E-04	1.4610E-04	1.4817E-04	1.5024E-04	1.5232E-04	1.5440E-04	1.5648E-04	1.5857E-04	1.6066E-04	1.6275E-04
1000	1.6484E-04	1.6694E-04	1.6904E-04	1.7114E-04	1.7324E-04	1.7534E-04	1.7745E-04	1.7956E-04	1.8166E-04	1.8377E-04
1100	1.8588E-04	1.8799E-04	1.9010E-04	1.9222E-04	1.9433E-04	1.9644E-04	1.9856E-04	2.0067E-04	2.0278E-04	2.0490E-04
1200	2.0701E-04	2.0912E-04	2.1124E-04	2.1335E-04	2.1546E-04	2.1757E-04	2.1968E-04	2.2179E-04	2.2390E-04	2.2601E-04
1300	2.2812E-04	2.3023E-04	2.3233E-04	2.3444E-04	2.3654E-04	2.3864E-04	2.4074E-04	2.4284E-04	2.4494E-04	2.4704E-04
1400	2.4914E-04	2.5123E-04	2.5332E-04	2.5541E-04	2.5751E-04	2.5959E-04	2.6168E-04	2.6376E-04	2.6585E-04	2.6793E-04
1500	2.7001E-04	2.7208E-04	2.7416E-04	2.7623E-04	2.7830E-04	2.8037E-04	2.8244E-04	2.8450E-04	2.8656E-04	2.8862E-04
1600	2.9068E-04	2.9274E-04	2.9479E-04	2.9684E-04	2.9889E-04	3.0094E-04	3.0298E-04	3.0502E-04	3.0706E-04	3.0910E-04
1700	3.1114E-04	3.1317E-04	3.1520E-04	3.1722E-04	3.1925E-04	3.2127E-04	3.2329E-04	3.2530E-04	3.2732E-04	3.2933E-04
1800	3.3134E-04	3.3334E-04	3.3535E-04	3.3735E-04	3.3934E-04	3.4134E-04	3.4333E-04	3.4532E-04	3.4730E-04	3.4929E-04
1900	3.5127E-04	3.5324E-04	3.5522E-04	3.5719E-04	3.5916E-04	3.6112E-04	3.6309E-04	3.6504E-04	3.6700E-04	3.6896E-04
2000	3.7091E-04	3.7285E-04	3.7480E-04	3.7674E-04	3.7868E-04	3.8061E-04	3.8254E-04	3.8447E-04	3.8640E-04	3.8832E-04
2100	3.9024E-04	3.9215E-04	3.9407E-04	3.9598E-04	3.9788E-04	3.9979E-04	4.0168E-04	4.0358E-04	4.0547E-04	4.0736E-04
2200	4.0925E-04	4.1113E-04	4.1301E-04	4.1489E-04	4.1676E-04	4.1863E-04	4.2050E-04	4.2236E-04	4.2422E-04	4.2608E-04
2300	4.2793E-04	4.2978E-04	4.3163E-04	4.3347E-04	4.3531E-04	4.3715E-04	4.3898E-04	4.4081E-04	4.4263E-04	4.4446E-04
2400	4.4628E-04	4.4809E-04	4.4990E-04	4.5171E-04	4.5351E-04	4.5532E-04	4.5711E-04	4.5891E-04	4.6070E-04	4.6249E-04
2500	4.6427E-04	4.6605E-04	4.6783E-04	4.6960E-04	4.7137E-04	4.7314E-04	4.7490E-04	4.7666E-04	4.7841E-04	4.8017E-04
2600	4.8191E-04	4.8366E-04	4.8540E-04	4.8714E-04	4.8887E-04	4.9060E-04	4.9233E-04	4.9405E-04	4.9577E-04	4.9749E-04
2700	4.9920E-04	5.0091E-04	5.0261E-04	5.0431E-04	5.0601E-04	5.0770E-04	5.0940E-04	5.1108E-04	5.1277E-04	5.1445E-04
2800	5.1612E-04	5.1780E-04	5.1946E-04	5.2113E-04	5.2279E-04	5.2445E-04	5.2610E-04	5.2775E-04	5.2940E-04	5.3105E-04
2900	5.3269E-04	5.3432E-04	5.3595E-04	5.3758E-04	5.3921E-04	5.4083E-04	5.4245E-04	5.4406E-04	5.4568E-04	5.4728E-04
3000	5.4889E-04	5.5049E-04	5.5208E-04	5.5368E-04	5.5527E-04	5.5685E-04	5.5843E-04	5.6001E-04	5.6159E-04	5.6316E-04
3100	5.6473E-04	5.6629E-04	5.6785E-04	5.6941E-04	5.7096E-04	5.7251E-04	5.7406E-04	5.7560E-04	5.7714E-04	5.7868E-04
3200	5.8021E-04	5.8174E-04	5.8327E-04	5.8479E-04	5.8631E-04	5.8782E-04	5.8933E-04	5.9084E-04	5.9234E-04	5.9384E-04
3300	5.9534E-04	5.9683E-04	5.9832E-04	5.9981E-04	6.0129E-04	6.0277E-04	6.0425E-04	6.0572E-04	6.0719E-04	6.0865E-04
3400	6.1012E-04	6.1158E-04	6.1303E-04	6.1448E-04	6.1593E-04	6.1738E-04	6.1882E-04	6.2026E-04	6.2169E-04	6.2312E-04
3500	6.2455E-04	6.2597E-04	6.2739E-04	6.2881E-04	6.3023E-04	6.3164E-04	6.3305E-04	6.3445E-04	6.3585E-04	6.3725E-04
3600	6.3864E-04	6.4003E-04	6.4142E-04	6.4280E-04	6.4418E-04	6.4556E-04	6.4694E-04	6.4831E-04	6.4967E-04	6.5104E-04
3700	6.5240E-04	6.5376E-04	6.5511E-04	6.5646E-04	6.5781E-04	6.5916E-04	6.6050E-04	6.6184E-04	6.6317E-04	6.6450E-04
3800	6.6583E-04	6.6716E-04	6.6848E-04	6.6980E-04	6.7112E-04	6.7243E-04	6.7374E-04	6.7505E-04	6.7635E-04	6.7765E-04
3900	6.7895E-04	6.8024E-04	6.8153E-04	6.8282E-04	6.8411E-04	6.8539E-04	6.8667E-04	6.8794E-04	6.8922E-04	6.9049E-04
4000	6.9175E-04	6.9302E-04	6.9428E-04	6.9553E-04	6.9679E-04	6.9804E-04	6.9929E-04	7.0054E-04	7.0178E-04	7.0302E-04
4100	7.0426E-04	7.0549E-04	7.0672E-04	7.0795E-04	7.0917E-04	7.1040E-04	7.1162E-04	7.1283E-04	7.1405E-04	7.1526E-04
4200	7.1647E-04	7.1767E-04	7.1888E-04	7.2007E-04	7.2127E-04	7.2247E-04	7.2366E-04	7.2485E-04	7.2603E-04	7.2721E-04
4300	7.2839E-04	7.2957E-04	7.3075E-04	7.3192E-04	7.3309E-04	7.3425E-04	7.3542E-04	7.3658E-04	7.3774E-04	7.3890E-04
4400	7.4005E-04	7.4120E-04	7.4235E-04	7.4349E-04	7.4464E-04	7.4578E-04	7.4691E-04	7.4805E-04	7.4918E-04	7.5031E-04
4500	7.5144E-04	7.5256E-04	7.5369E-04	7.5481E-04	7.5592E-04	7.5704E-04	7.5815E-04	7.5926E-04	7.6037E-04	7.6147E-04
4600	7.6257E-04	7.6367E-04	7.6477E-04	7.6587E-04	7.6696E-04	7.6805E-04	7.6914E-04	7.7022E-04	7.7131E-04	7.7239E-04
4700	7.7347E-04	7.7454E-04	7.7561E-04	7.7669E-04	7.7775E-04	7.7882E-04	7.7989E-04	7.8095E-04	7.8201E-04	7.8307E-04
4800	7.8412E-04	7.8517E-04	7.8622E-04	7.8727E-04	7.8832E-04	7.8936E-04	7.9041E-04	7.9144E-04	7.9248E-04	7.9352E-04
4900	7.9455E-04	7.9558E-04	7.9661E-04	7.9764E-04	7.9866E-04	7.9969E-04	8.0071E-04	8.0172E-04	8.0274E-04	8.0375E-04
5000	8.0477E-04	8.0578E-04	8.0678E-04	8.0779E-04	8.0879E-04	8.0980E-04	8.1080E-04	8.1180E-04	8.1279E-04	8.1379E-04
5100	8.1478E-04	8.1577E-04	8.1675E-04	8.1774E-04	8.1873E-04	8.1971E-04	8.2069E-04	8.2167E-04	8.2264E-04	8.2362E-04
5200	8.2459E-04	8.2556E-04	8.2653E-04	8.2750E-04	8.2846E-04	8.2943E-04	8.3039E-04	8.3135E-04	8.3231E-04	8.3326E-04
5300	8.3422E-04	8.3517E-04	8.3612E-04	8.3707E-04	8.3802E-04	8.3896E-04	8.3991E-04	8.4085E-04	8.4179E-04	8.4273E-04
5400	8.4367E-04	8.4461E-04	8.4554E-04	8.4647E-04	8.4740E-04	8.4833E-04	8.4926E-04	8.5018E-04	8.5111E-04	8.5203E-04
5500	8.5295E-04	8.5387E-04	8.5479E-04	8.5571E-04	8.5662E-04	8.5753E-04	8.5844E-04	8.5935E-04	8.6026E-04	8.6117E-04
5600	8.6208E-04	8.6298E-04	8.6388E-04	8.6478E-04	8.6568E-04	8.6658E-04	8.6748E-04	8.6837E-04	8.6927E-04	8.7016E-04
5700	8.7105E-04	8.7194E-04	8.7283E-04	8.7371E-04	8.7460E-04	8.7548E-04	8.7636E-04	8.7724E-04	8.7812E-04	8.7900E-04
5800	8.7988E-04	8.8075E-04	8.8163E-04	8.8250E-04	8.8337E-04	8.8424E-04	8.8511E-04	8.8598E-04	8.8685E-04	8.8771E-04
5900	8.8858E-04	8.8944E-04	8.9030E-04	8.9116E-04	8.9202E-04	8.9288E-04	8.9374E-04	8.9459E-04	8.9544E-04	8.9630E-04

Table 4.6 Numerical table of G(E) function for a 5" spherical NaI(Tl) scintillation detector..

E (KEV)	5 55	10 60	15 65	20 70	25 75	30 80	35 85	40 90	45 95	50 100
0	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	2.4721E-05
100	2.1628E-05	1.9585E-05	1.8308E-05	1.7637E-05	1.7458E-05	1.7678E-05	1.8215E-05	1.9001E-05	1.9978E-05	2.1099E-05
200	2.2326E-05	2.3630E-05	2.4989E-05	2.6383E-05	2.7803E-05	2.9238E-05	3.0683E-05	3.2134E-05	3.3589E-05	3.5048E-05
300	3.6510E-05	3.7976E-05	3.9448E-05	4.0926E-05	4.2414E-05	4.3912E-05	4.5422E-05	4.6945E-05	4.8484E-05	5.0040E-05
400	5.1613E-05	5.3206E-05	5.4818E-05	5.6451E-05	5.8105E-05	5.9782E-05	6.1481E-05	6.3202E-05	6.4946E-05	6.6713E-05
500	6.8503E-05	7.0316E-05	7.2151E-05	7.4009E-05	7.5889E-05	7.7791E-05	7.9714E-05	8.1658E-05	8.3623E-05	8.5608E-05
600	8.7612E-05	8.9636E-05	9.1678E-05	9.3739E-05	9.5816E-05	9.7911E-05	1.0002E-04	1.0215E-04	1.0429E-04	1.0645E-04
700	1.0862E-04	1.1081E-04	1.1300E-04	1.1521E-04	1.1744E-04	1.1967E-04	1.2192E-04	1.2418E-04	1.2644E-04	1.2872E-04
800	1.3101E-04	1.3330E-04	1.3561E-04	1.3792E-04	1.4024E-04	1.4257E-04	1.4490E-04	1.4724E-04	1.4959E-04	1.5194E-04
900	1.5430E-04	1.5667E-04	1.5904E-04	1.6141E-04	1.6379E-04	1.6618E-04	1.6857E-04	1.7096E-04	1.7335E-04	1.7575E-04
1000	1.7815E-04	1.8056E-04	1.8296E-04	1.8537E-04	1.8779E-04	1.9020E-04	1.9261E-04	1.9503E-04	1.9745E-04	1.9987E-04
1100	2.0230E-04	2.0472E-04	2.0714E-04	2.0957E-04	2.1199E-04	2.1442E-04	2.1685E-04	2.1927E-04	2.2170E-04	2.2413E-04
1200	2.2656E-04	2.2898E-04	2.3141E-04	2.3384E-04	2.3626E-04	2.3869E-04	2.4112E-04	2.4354E-04	2.4597E-04	2.4839E-04
1300	2.5081E-04	2.5323E-04	2.5565E-04	2.5807E-04	2.6049E-04	2.6291E-04	2.6533E-04	2.6774E-04	2.7015E-04	2.7257E-04
1400	2.7498E-04	2.7739E-04	2.7979E-04	2.8220E-04	2.8460E-04	2.8701E-04	2.8941E-04	2.9181E-04	2.9420E-04	2.9660E-04
1500	2.9899E-04	3.0138E-04	3.0377E-04	3.0616E-04	3.0854E-04	3.1093E-04	3.1331E-04	3.1569E-04	3.1806E-04	3.2044E-04
1600	3.2281E-04	3.2518E-04	3.2754E-04	3.2991E-04	3.3227E-04	3.3463E-04	3.3699E-04	3.3934E-04	3.4170E-04	3.4404E-04
1700	3.4639E-04	3.4874E-04	3.5108E-04	3.5342E-04	3.5575E-04	3.5809E-04	3.6042E-04	3.6275E-04	3.6507E-04	3.6739E-04
1800	3.6971E-04	3.7203E-04	3.7434E-04	3.7666E-04	3.7896E-04	3.8127E-04	3.8357E-04	3.8587E-04	3.8816E-04	3.9046E-04
1900	3.9275E-04	3.9503E-04	3.9732E-04	3.9960E-04	4.0187E-04	4.0415E-04	4.0642E-04	4.0869E-04	4.1095E-04	4.1321E-04
2000	4.1547E-04	4.1772E-04	4.1998E-04	4.2222E-04	4.2447E-04	4.2671E-04	4.2895E-04	4.3118E-04	4.3341E-04	4.3564E-04
2100	4.3786E-04	4.4008E-04	4.4230E-04	4.4451E-04	4.4672E-04	4.4893E-04	4.5113E-04	4.5333E-04	4.5553E-04	4.5772E-04
2200	4.5991E-04	4.6209E-04	4.6427E-04	4.6645E-04	4.6862E-04	4.7079E-04	4.7296E-04	4.7512E-04	4.7728E-04	4.7943E-04
2300	4.8159E-04	4.8373E-04	4.8588E-04	4.8802E-04	4.9015E-04	4.9228E-04	4.9441E-04	4.9654E-04	4.9866E-04	5.0077E-04
2400	5.0289E-04	5.0500E-04	5.0710E-04	5.0920E-04	5.1130E-04	5.1339E-04	5.1548E-04	5.1757E-04	5.1965E-04	5.2173E-04
2500	5.2380E-04	5.2587E-04	5.2793E-04	5.2999E-04	5.3205E-04	5.3411E-04	5.3615E-04	5.3820E-04	5.4024E-04	5.4228E-04
2600	5.4431E-04	5.4634E-04	5.4837E-04	5.5039E-04	5.5240E-04	5.5441E-04	5.5642E-04	5.5843E-04	5.6043E-04	5.6242E-04
2700	5.6442E-04	5.6640E-04	5.6839E-04	5.7037E-04	5.7234E-04	5.7431E-04	5.7628E-04	5.7824E-04	5.8020E-04	5.8216E-04
2800	5.8411E-04	5.8605E-04	5.8799E-04	5.8993E-04	5.9186E-04	5.9379E-04	5.9572E-04	5.9764E-04	5.9956E-04	6.0147E-04
2900	6.0338E-04	6.0528E-04	6.0718E-04	6.0908E-04	6.1097E-04	6.1285E-04	6.1474E-04	6.1662E-04	6.1849E-04	6.2036E-04
3000	6.2223E-04	6.2409E-04	6.2595E-04	6.2780E-04	6.2965E-04	6.3150E-04	6.3334E-04	6.3517E-04	6.3701E-04	6.3883E-04
3100	6.4066E-04	6.4248E-04	6.4429E-04	6.4611E-04	6.4791E-04	6.4972E-04	6.5152E-04	6.5331E-04	6.5510E-04	6.5689E-04
3200	6.5867E-04	6.6045E-04	6.6222E-04	6.6399E-04	6.6576E-04	6.6752E-04	6.6927E-04	6.7103E-04	6.7278E-04	6.7452E-04
3300	6.7626E-04	6.7800E-04	6.7973E-04	6.8146E-04	6.8318E-04	6.8490E-04	6.8662E-04	6.8833E-04	6.9004E-04	6.9174E-04
3400	6.9344E-04	6.9513E-04	6.9683E-04	6.9851E-04	7.0020E-04	7.0188E-04	7.0355E-04	7.0522E-04	7.0689E-04	7.0855E-04
3500	7.1021E-04	7.1187E-04	7.1352E-04	7.1516E-04	7.1681E-04	7.1845E-04	7.2008E-04	7.2171E-04	7.2334E-04	7.2496E-04
3600	7.2658E-04	7.2820E-04	7.2981E-04	7.3141E-04	7.3302E-04	7.3462E-04	7.3621E-04	7.3780E-04	7.3939E-04	7.4098E-04
3700	7.4256E-04	7.4413E-04	7.4571E-04	7.4727E-04	7.4884E-04	7.5040E-04	7.5196E-04	7.5351E-04	7.5506E-04	7.5661E-04
3800	7.5815E-04	7.5969E-04	7.6122E-04	7.6275E-04	7.6428E-04	7.6580E-04	7.6732E-04	7.6884E-04	7.7035E-04	7.7186E-04
3900	7.7336E-04	7.7487E-04	7.7636E-04	7.7786E-04	7.7935E-04	7.8084E-04	7.8232E-04	7.8380E-04	7.8527E-04	7.8675E-04
4000	7.8822E-04	7.8968E-04	7.9114E-04	7.9260E-04	7.9406E-04	7.9551E-04	7.9696E-04	7.9840E-04	7.9984E-04	8.0128E-04
4100	8.0271E-04	8.0414E-04	8.0557E-04	8.0699E-04	8.0842E-04	8.0983E-04	8.1125E-04	8.1266E-04	8.1406E-04	8.1547E-04
4200	8.1687E-04	8.1826E-04	8.1966E-04	8.2105E-04	8.2244E-04	8.2382E-04	8.2520E-04	8.2658E-04	8.2795E-04	8.2933E-04
4300	8.3069E-04	8.3206E-04	8.3342E-04	8.3478E-04	8.3613E-04	8.3749E-04	8.3884E-04	8.4018E-04	8.4152E-04	8.4286E-04
4400	8.4420E-04	8.4553E-04	8.4686E-04	8.4819E-04	8.4952E-04	8.5084E-04	8.5216E-04	8.5347E-04	8.5479E-04	8.5610E-04
4500	8.5740E-04	8.5871E-04	8.6001E-04	8.6131E-04	8.6260E-04	8.6389E-04	8.6518E-04	8.6647E-04	8.6775E-04	8.6904E-04
4600	8.7031E-04	8.7159E-04	8.7286E-04	8.7413E-04	8.7540E-04	8.7666E-04	8.7792E-04	8.7918E-04	8.8044E-04	8.8169E-04
4700	8.8294E-04	8.8419E-04	8.8544E-04	8.8668E-04	8.8792E-04	8.8916E-04	8.9039E-04	8.9163E-04	8.9286E-04	8.9408E-04
4800	8.9531E-04	8.9653E-04	8.9775E-04	8.9897E-04	9.0018E-04	9.0140E-04	9.0261E-04	9.0381E-04	9.0502E-04	9.0622E-04
4900	9.0742E-04	9.0862E-04	9.0981E-04	9.1101E-04	9.1220E-04	9.1339E-04	9.1457E-04	9.1576E-04	9.1694E-04	9.1812E-04
5000	9.1929E-04	9.2047E-04	9.2164E-04	9.2281E-04	9.2398E-04	9.2514E-04	9.2631E-04	9.2747E-04	9.2862E-04	9.2978E-04
5100	9.3094E-04	9.3209E-04	9.3324E-04	9.3439E-04	9.3553E-04	9.3668E-04	9.3782E-04	9.3896E-04	9.4010E-04	9.4123E-04
5200	9.4237E-04	9.4350E-04	9.4463E-04	9.4576E-04	9.4688E-04	9.4800E-04	9.4913E-04	9.5025E-04	9.5137E-04	9.5248E-04
5300	9.5359E-04	9.5471E-04	9.5582E-04	9.5693E-04	9.5803E-04	9.5914E-04	9.6024E-04	9.6134E-04	9.6244E-04	9.6354E-04
5400	9.6463E-04	9.6573E-04	9.6682E-04	9.6791E-04	9.6900E-04	9.7008E-04	9.7117E-04	9.7225E-04	9.7334E-04	9.7442E-04
5500	9.7549E-04	9.7657E-04	9.7764E-04	9.7872E-04	9.7979E-04	9.8086E-04	9.8193E-04	9.8300E-04	9.8406E-04	9.8513E-04
5600	9.8619E-04	9.8725E-04	9.8831E-04	9.8936E-04	9.9042E-04	9.9148E-04	9.9253E-04	9.9358E-04	9.9463E-04	9.9568E-04
5700	9.9673E-04	9.9777E-04	9.9882E-04	9.9986E-04	1.0009E-03	1.0019E-03	1.0030E-03	1.0040E-03	1.0051E-03	1.0061E-03
5800	1.0071E-03	1.0082E-03	1.0092E-03	1.0102E-03	1.0112E-03	1.0123E-03	1.0133E-03	1.0143E-03	1.0153E-03	1.0164E-03
5900	1.0174E-03	1.0184E-03	1.0194E-03	1.0204E-03	1.0215E-03	1.0225E-03	1.0235E-03	1.0245E-03	1.0255E-03	1.0265E-03

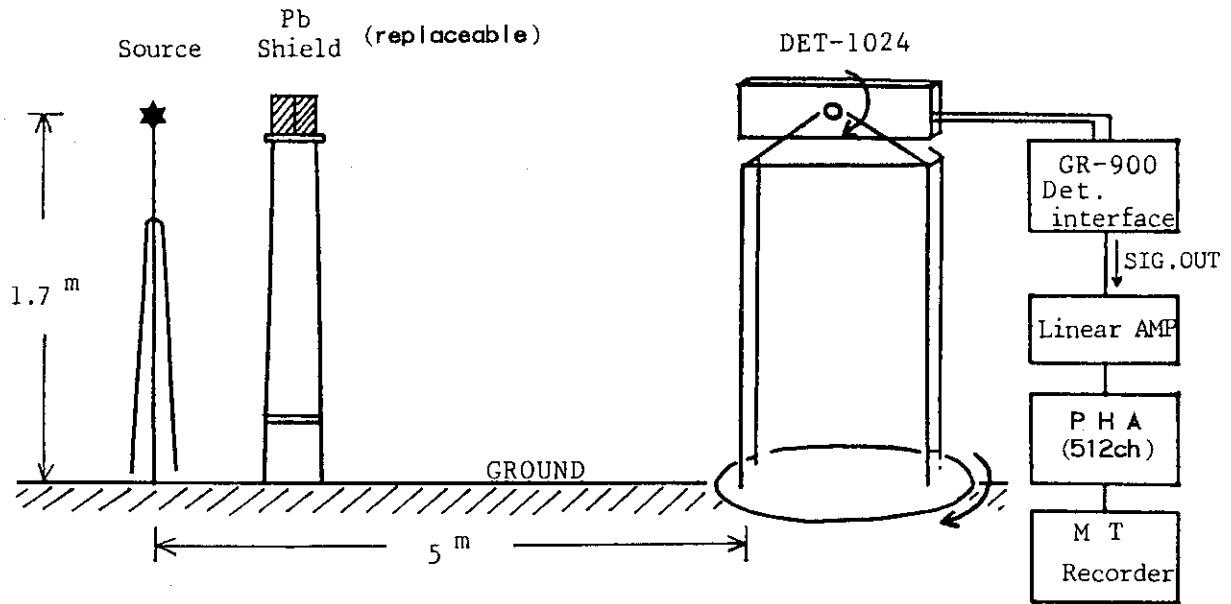


Fig. 4.1 Schematic view of the experimental set-up for the directional response measurements of the DET-1024 detector.

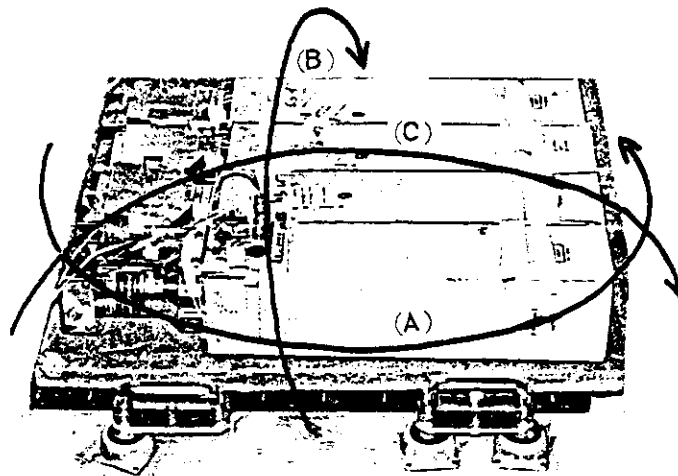
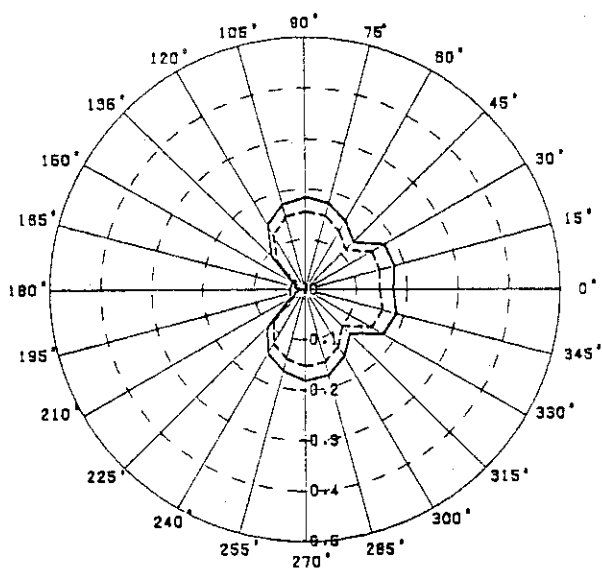
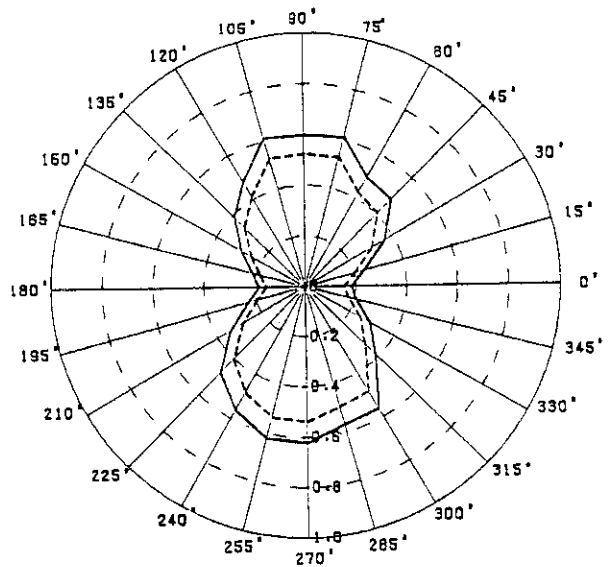


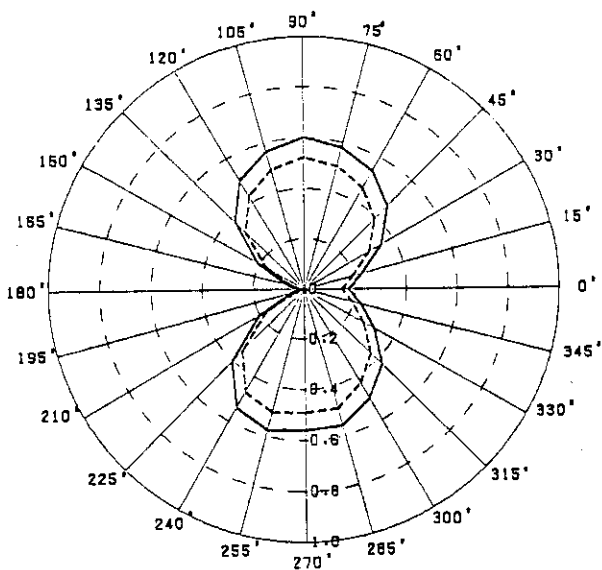
Fig. 4.2 Three peculiar circumferences for directional sensitivity test of the DET-1024 detector. (A) includes the centers of REAR-, RIGHT-, FRONT- and LEFT- sides. (B) includes the centers of LEFT-, UPPER-, RIGHT- and LOWER- sides. (C) includes the centers of REAR-, UPPER-, FRONT- and LOWER- sides.



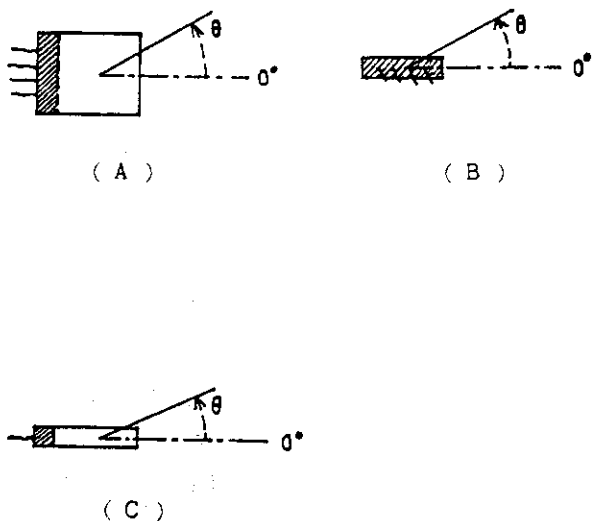
(A) Circumference including the centers of REAR-, RIGHT-, FRONT- and LEFT- sides.



(B) Circumference including the centers of LEFT-, UPPER-, RIGHT- and LOWER- sides.

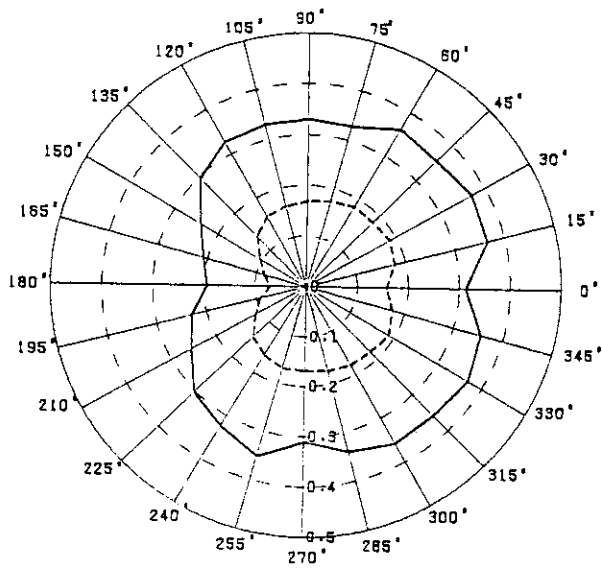


(C) Circumference including the centers of REAR-, UPPER-, FRONT- and LOWER- sides.

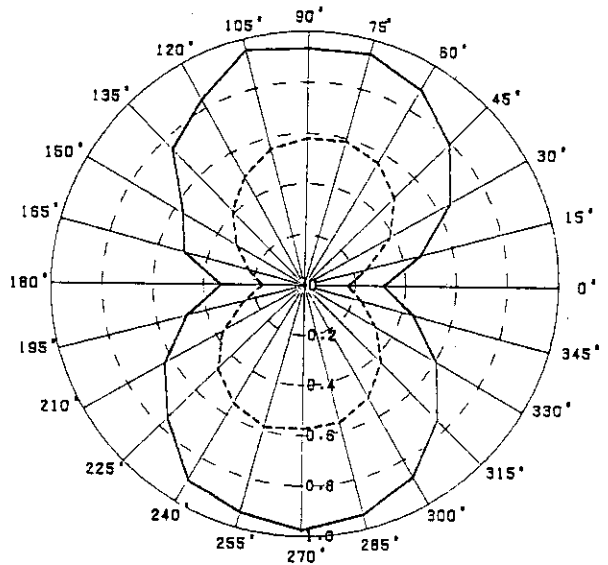


———— Interaction ratio
 - - - - - Peak ratio

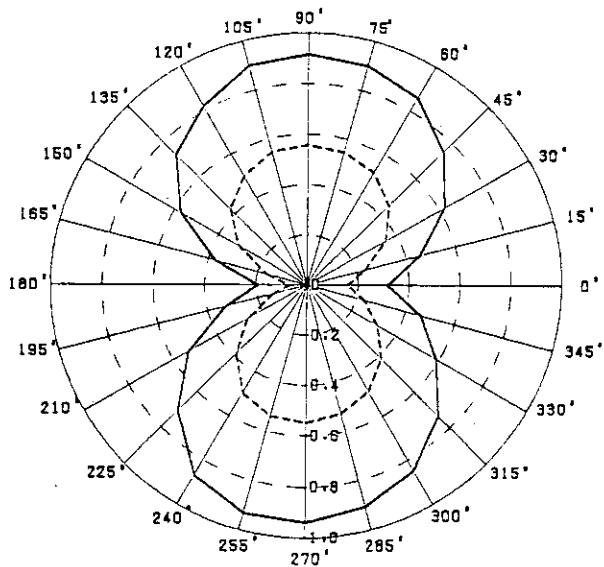
Fig. 4.3 Directional response of the DET-1024 detector normalized at the ratio to the number of incidents into UPPER side having widest surface (Am-241 : Energy = 0.060 MeV).



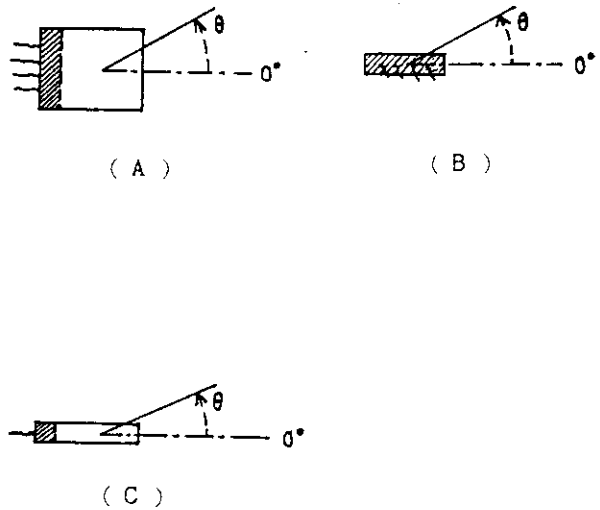
(A) Circumference including the centers of REAR-, RIGHT-, FRONT- and LEFT- sides.



(B) Circumference including the centers of LEFT-, UPPER-, RIGHT- and LOWER- sides.

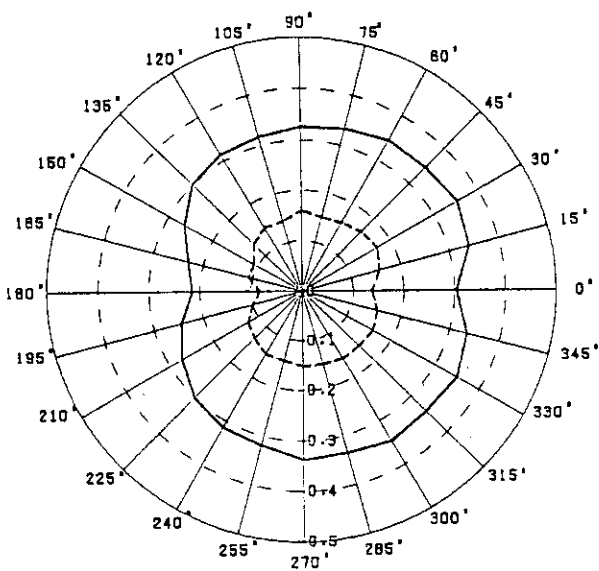


(C) Circumference including the centers of REAR-, UPPER-, FRONT- and LOWER- sides.

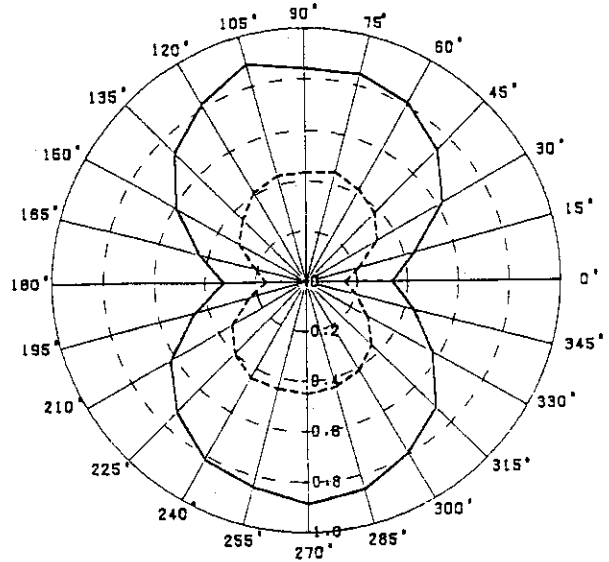


———— Interaction ratio
 - - - - - Peak ratio

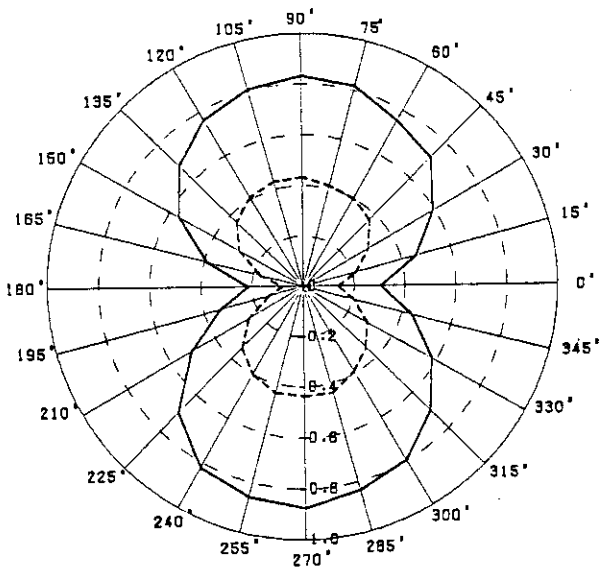
Fig. 4.4 Directional response of the DET-1024 detector normalized at the ratio to the number of incidents into UPPER side having widest surface (Cs-137 : Energy = 0.662 MeV).



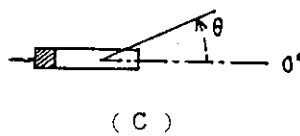
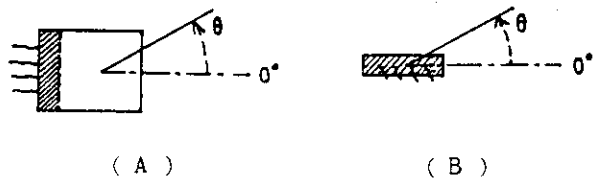
(A) Circumference including the centers of REAR-, RIGHT-, FRONT- and LEFT- sides.



(B) Circumference including the centers of LEFT-, UPPER-, RIGHT- and LOWER- sides.

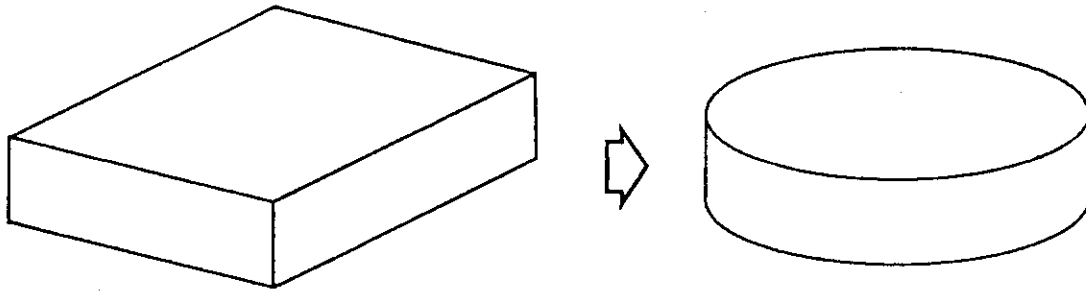


(C) Circumference including the centers of REAR-, UPPER-, FRONT- and LOWER- sides.



————— Interaction ratio
 - - - - - Peak ratio

Fig. 4.5 Directional response of the DET-1024 detector normalized at the ratio to the number of incidents into UPPER side having widest surface (Co-60 : Energy = 1.332 MeV).



Real Shape
Size: 16" x 16" X 4"

Model
18.05" diam. X 4"

Al can thickness
Upper-,Down- 10 mm
Side 20.2 mm

Fig. 4.6 Calculation model that approximates the DET-1024 detector. (left) Real shape of the DET-1024 detector, (right) Substituted detector model. Volume(1,024 inch³) and height (4 in.) are the same.

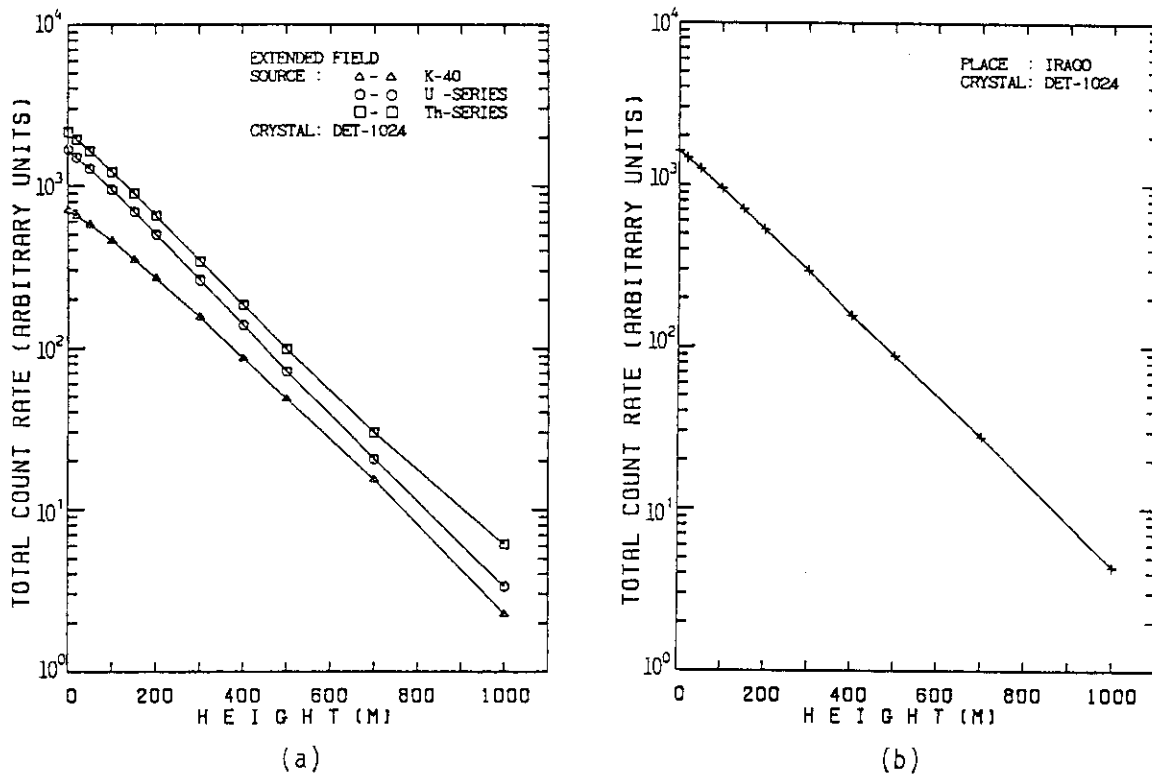


Fig. 4.7 Variation of total count rate with height (a) above extended source field, and (b) at Irago farmland in Aichi prefecture. Both aerial gamma-ray fields and detector response are simulated with a Monte Carlo method.

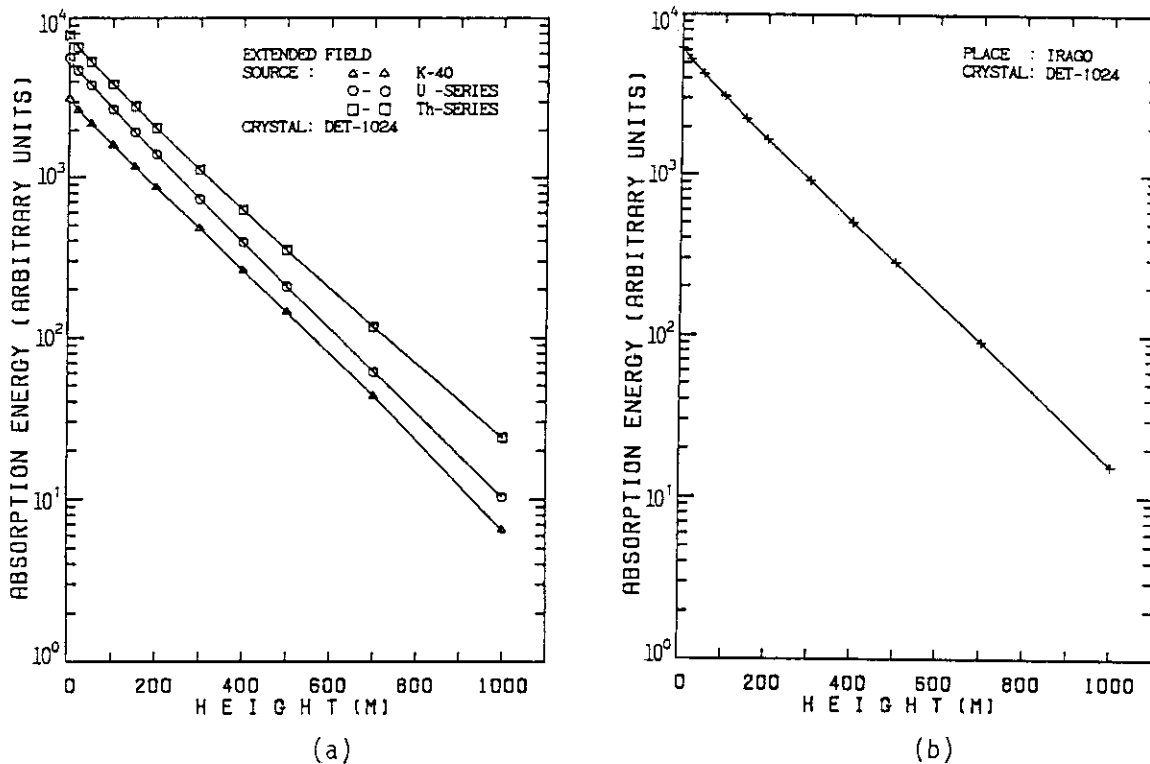


Fig. 4.8 Variation of absorption energy with height (a) above extended source field, and (b) at Irago farmland in Aichi prefecture. Both aerial gamma-ray fields and detector response are simulated with a Monte Carlo method.

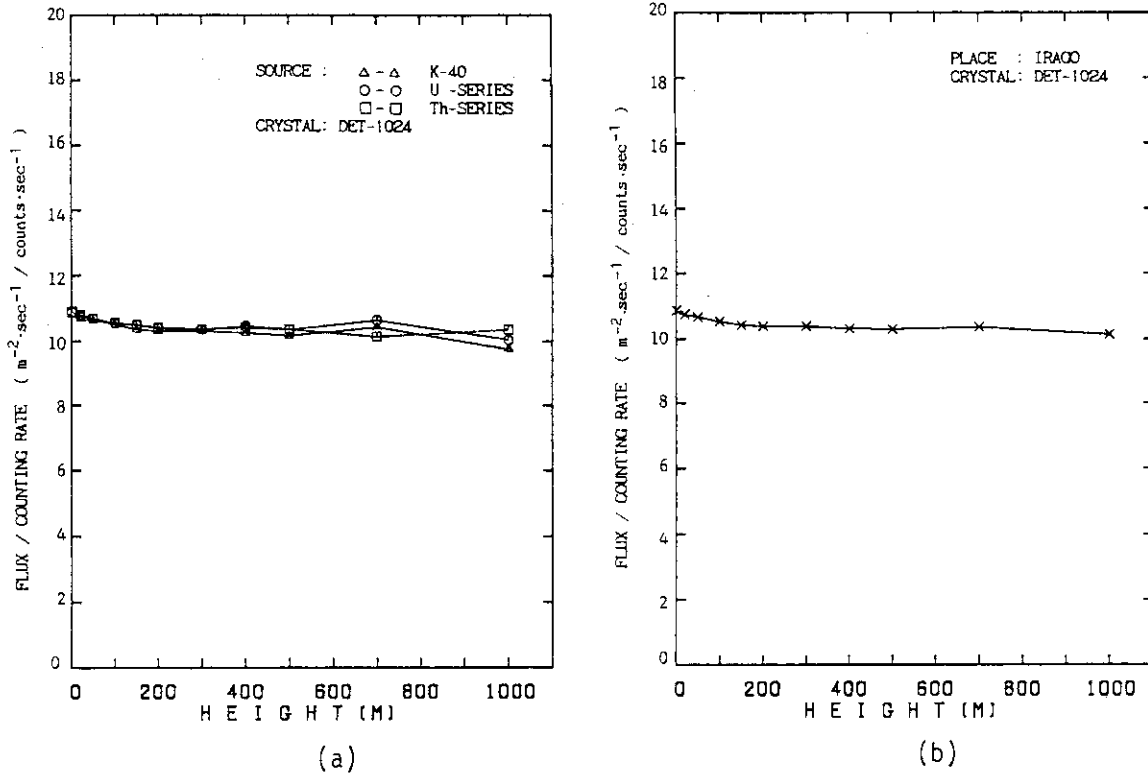


Fig. 4.9 Variation of the ratio of exposure rate to total counts with height (a) above extended source field, and (b) at Irigo farmland in Aichi prefecture. Both aerial gamma-ray fields and detector response are simulated with a Monte Carlo method.

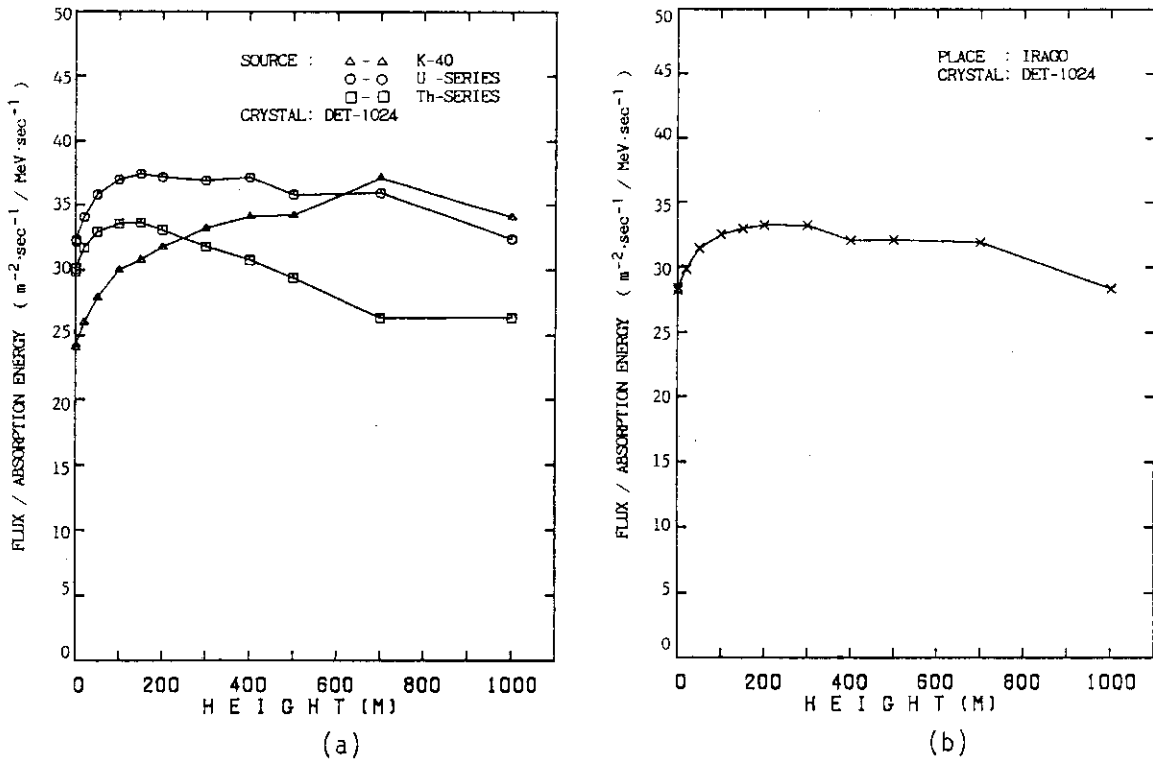


Fig. 4.10 Variation of the ratio of exposure rate to absorption energy with height (a) above extended source field, and (b) at Irigo farmland in Aichi prefecture. Both aerial gamma-ray fields and detector response are simulated with a Monte Carlo method.

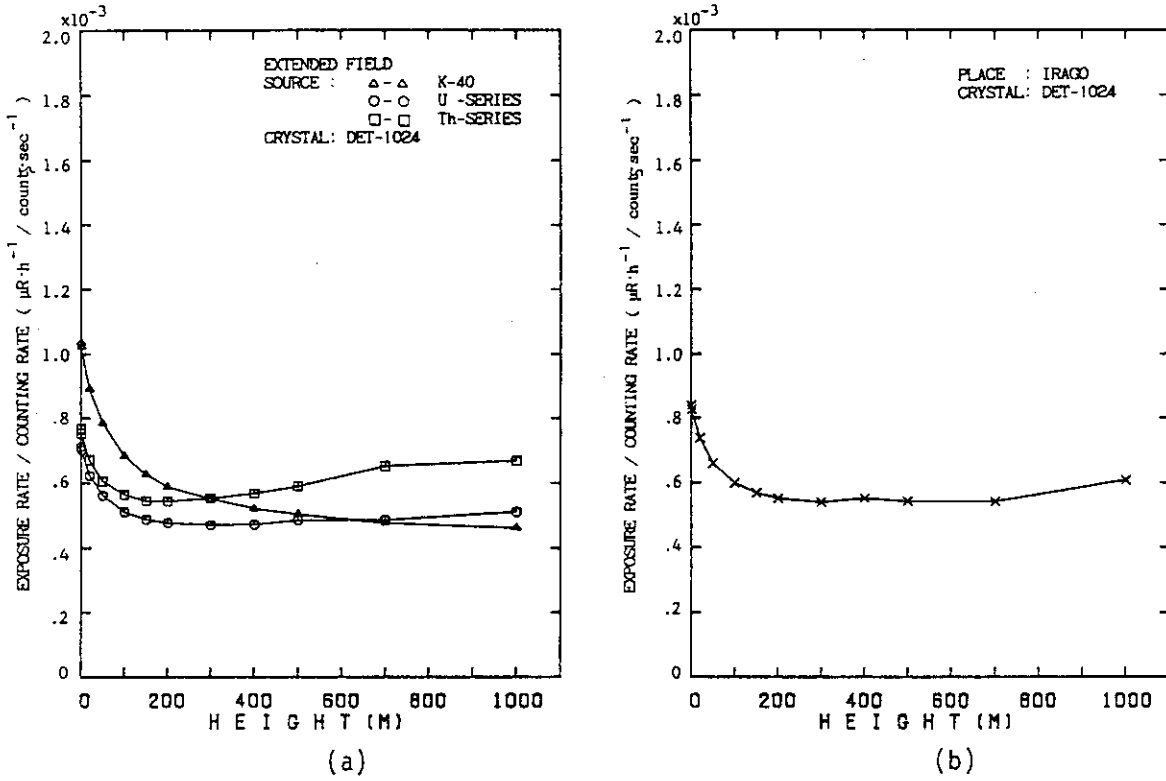


Fig. 4.11 Variation of the ratio of incident flux to total counts with height (a) above extended source field, and (b) at Irago farmland in Aichi prefecture. Both aerial gamma-ray fields and detector response are simulated with a Monte Carlo method.

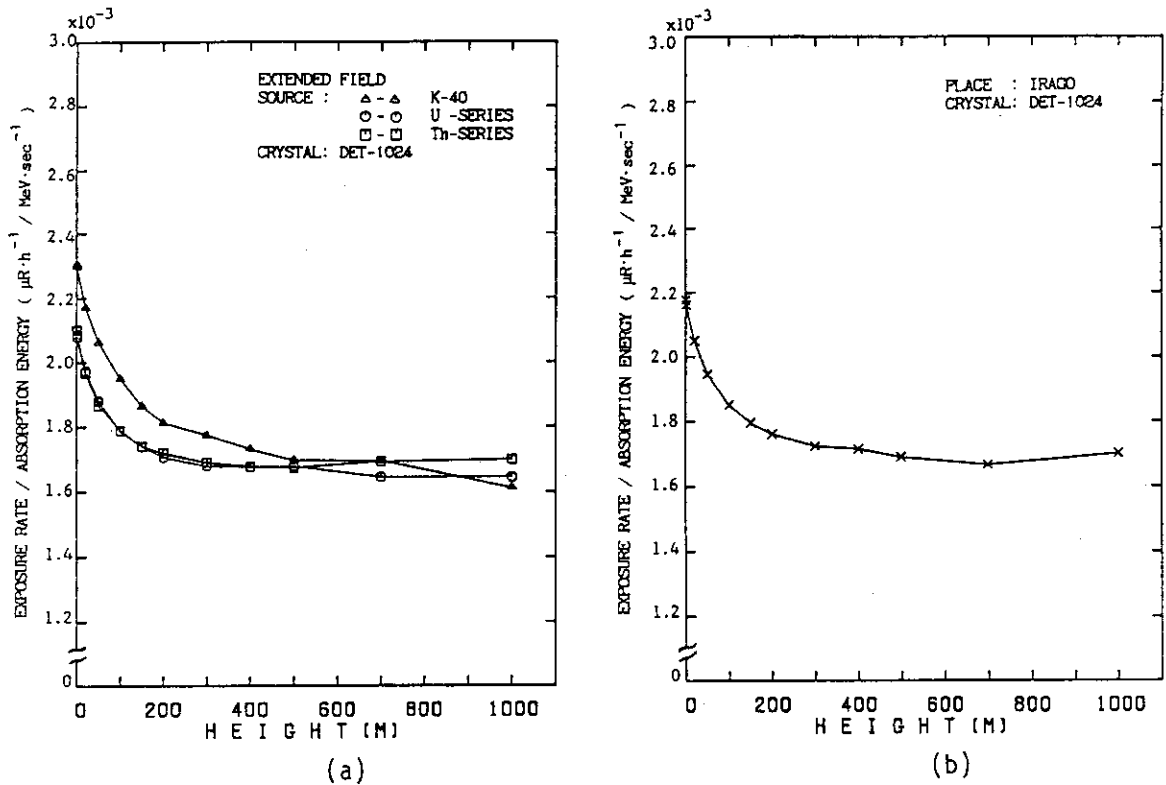


Fig. 4.12 Variation of the ratio of incident flux to absorption energy with height (a) above extended source field, and (b) at Irago farmland in Aichi prefecture. Both aerial gamma-ray fields and detector response are simulated with a Monte Carlo method.

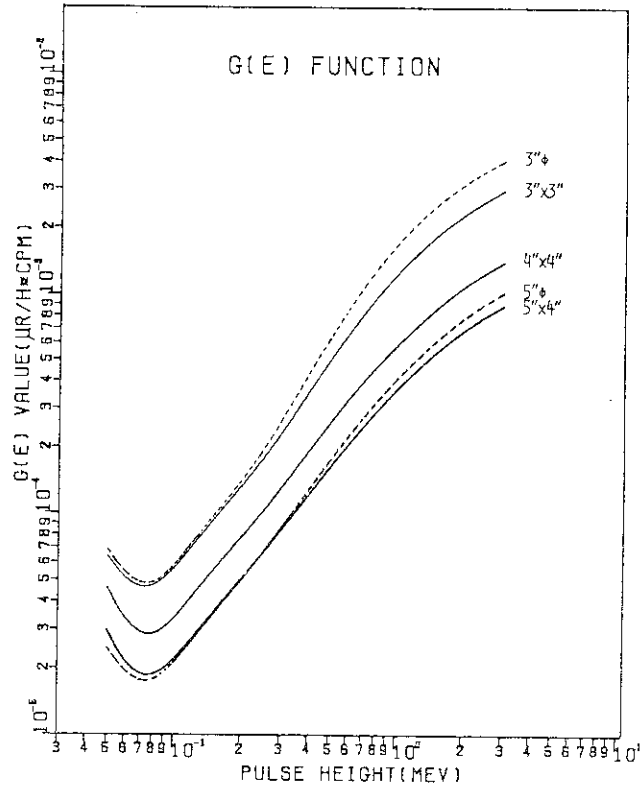


Fig. 4.13 G(E) functions for commonly-used detectors calculated from responses on a Monte Carlo calculation. Dashed lines indicates spherical types, real lines cylindrical types.

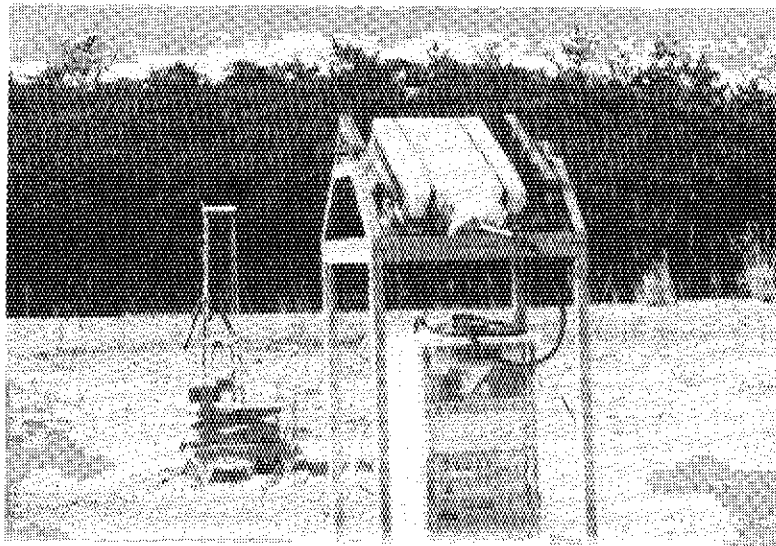


Photo 4.1 Picture showing the experimental set-up for the directional response of the DET-1024 detector.

5. データ処理法

この章では、サーベイ現場での可搬型のミニコンピュータを基にした処理と、原研内の大型汎用計算機を使った処理についてデータ処理流れおよび内容、その出力を示す。

5.1 測定データ記録テープ

本サーベイでは、12.7mm幅の1200ft長リールの磁気テープを使用している。この磁気テープ上の測定データは9トラック並列記録で、NRZI方式により800BPIの記録密度で記録される。4測定分のデータがまとめて1レコードに書かれ、全体で3044バイト長で連続記録される。サーベイ終了時にこれら一連の測定データは、所定の様式でファイル・マークが記録され、サーベイの区分がなされる。ただし約2時間の飛行測定では、リール1巻を使用し、1巻中に数サーベイのデータを記録することは原則的にしない。

5.2 地上処理装置

5.2.1 地上処理装置の構成

飛行測定後に記録された磁気テープを現場等で即時に処理を行うために、ミニコンを組み込んだ地上処理装置を整備した。大型計算機を使う場合、大規模な施設を必要とし計算機の運転時間等の制限を受けるが、この装置では電源の問題さえ解決すればリアルタイム処理がどこでも可能である。このシステムの構成をPhoto 5.1に示す。

CPUには、PERKIN-ELMER (Interdata社)のモデル5/16を使用している。取得データの読み取りはKennedy社9800の磁気テープ装置(MTU)より行い、その他に補助記憶装置としては、同タイプの磁気テープ装置をもう一基とフロッピー・ディスク装置(FDD)を2台装備している。フロッピーディスク装置には8インチ・ディスク使用のShugart社SA801Aを使用し、同心円状のデータ記録をもつディスクの特性から、MTUと異なりランダム・アクセスを可能とする。CRT付きコマンド入力端末装置には2000文字表示のTele Video社TVI-912を、ラインプリンタにはTexas Instruments社Model 810を使用している。安定電源供給装置にはSola製のものを使用し、このシステム全体は電源110Vac/50Hzで作動する。

コンピュータ、FDD、MTUは1個のラックに収納されており、その下部にCPU、各I/O機器とのインターフェース・ボード等が装着されている。

5.2.2 ディスク・オペレーション・システムと機能

システムの起動はDOS (Disc Operation System)の植え込みにより行われる。プログラム言語としてはアセンブラ、BASIC、FORTRANがこのシステムでは使用できる。

Fig. 5.1 にミニコンシステムの機能ブロック図を示す。CPUと各周辺機器とは、システムバスで結合され、各周辺機器とバス間には各インターフェース・ボードをもつ。

コマンド入力端末であるCRTからの命令は、マイクロバスを通してCPUに働きかける。CPUとその他のI/O周辺機器とはマルチプレクサバスでつながれ、指定機器とのデータのやりとりを行う。ここで図中の矢印は、制御信号、データの伝送方向を示す。また各I/O機器の枠内の右下隅の数字は物理的ポート番号(PU; Physical Unit)を示す。2基のMTUとFDDの接続は、ディジー・チェーン方式による。図中のG724Mは、ポータブルのアナログおよびデジタルのデータ収録装置で、記録されたカートリッジ磁気テープからの転送ラインを矢印は示しているが、現在はまだシステムとしては組み込まれていない。

5.2.3 地上処理装置を利用した処理

標準のデータ処理を説明する。ここで紹介するプログラムの全体および関連図をFig. 5.2に示す。以下順次コードの説明を行う。

(A) BINDMP (バイナリ・ダンプ)

BINDMPは、データ処理のトラブル時等に磁気テープに書かれたデータのフォーマットおよび数値の確認をするために使用する。このコードの実行により、生データ磁気テープの複製および16進数表示による記録内容のプリンタ出力を得ることができる。

Fig. 5.3に現フォーマットで書かれたデータの1レコード分のプリンタ出力例を示す。1レコードに4スキャン分まとめてデータが記録され、1スキャンの先頭から101キャラクタまではASCIIコードで書かれ、それに続くガンマ線スペクトル等はバイナリで書かれていることが確かめられる(Table 3.6, データフォーマット参照)。

(B) PASS1N

PASS1Nのコードは、磁気テープ上の生データを以後の処理に使いやすいようにするための最初の処理プログラムである。この実行により、フィデューシャル毎に放射線ウィンドウ値、電波高度計、気圧高度計値等の頻度分布ヒストグラムプリンタ出力を得る。また磁気テープの複製が行え、フィデューシャル毎に積算された放射線波高スペクトルはフロッピーディスクに出力ファイルされ、以後の処理に利用される。ヒストグラムの出力例をFig. 5.4に示す。

(C) DISPL1

フロッピーディスクに蓄積されたフィデューシャル毎の放射線スペクトルをヒストグラムでプロットするコードである。DOWNの検出器で256ch、UPの検出器では64ch打ち出される。詳細にガンマ線波高スペクトルをみるとき、フライト前後でのゲインドリフトのチェック時に実行する。スペクトル打ち出し例をFig. 5.5に示す。

(D) TABLAT

フィデューシャル毎のK-, U-, Th-ウィンドウのカウント、宇宙線カウント、トータルカウント等の放射線データの内容をテーブル化して、見やすい形に出力するプログラムである。出力例をFig. 5.6に示す。

(E) SHIFTR

ウィンドウ毎の平均計数率、ピークチャンネル、チャンネルシフト量、標準偏差、分解能を計算

する。ゲインのチェック時等にも使われる。出力例を Fig. 5.7 に示す。

(F) PASSOF/PASHFT

A D Cのデッド・タイムの補正，ウィンドウ幅の再設定時のカウント数の計算を行う。S H I F T Rの実行により，ピークシフトが無視できない場合は，P A S H F Tを使って実行する。

(G) PLTV AL

各種取得データの変化を時系列のグラフ化で表現する。

5.3 大型計算機を使ったデータ処理

航空機サーベイにより取得した磁気テープには，取得変数の数も多く，情報量で約 5.5～7 MB (Mega Bytes)のデータが記録される。このため詳細な解析，精密な図形出力を行うには，ミニコンのシステムの能力を超えるので，大型計算機を使用することになる。原研内部の計算センタに現在設置されている F A C O M - M 380 を使っての処理および出力例について述べる。

航空機サーベイの解析用にプログラム C A R D i N を開発した。その基本的な解析フローを Fig. 5.8 に示す。また個々のプログラム (U T 0 1 ~ 18) の内容を Table 5.1 に示し，処理手順に沿って説明を加える。

(1) 磁気テープの複製

サーベイデータは，9トラックの800 B P I の記録密度で書かれている。処理を行う過程において，記録テープを傷つけたり，過って書き消したりしないようにテープの複製を作る。大型計算機の場合により汎用性が高い1600 B P I の記録密度の方式で複製を行う。

(2) コード変換およびデータファイルの作成 (U T 0 1)

生データの書式コードの変換を行い，データファイルを作成する。膨大なデータ量の1秒毎の処理を行うには大きなメモリーを必要とするため，以後のデータ処理にあつた3ファイルを作成する。作成ファイルは，フィジューショナル毎スペクトルファイル，1秒毎スペクトルファイル，線量・位置ファイルである。線量・位置ファイルは，時刻，位置情報，ウィンドウ値，線量値等を含む。線量値換算には，G (E)関数法が用られる。ただし，D E T - 1024 検出器の場合には G (E) 関数が決定されていないので，全吸収エネルギーからの換算値を用いる。またバックグラウンド評価には，1秒毎スペクトルファイルよりディスクリミネーション法⁴⁾を用いて行う。

(3) データの補正および修正 (U T 0 3, 0 6, 0 9, 1 7)

各データの計測時刻差，磁気テープへの取り込みタイミングによる適合性をはかる。このタイミング補正は文献⁴⁾に詳しい。またノイズ，欠測による距離およびスペクトルの補正を行う。

(4) ウィンドウファイルの作成 (U T 0 5, 1 6)

1スペクトルに解析用として更に17ウィンドウを設け，ウィンドウの比をみることによる関心ピークの顕著化，または各ウィンドウ値と線量との相関等をみるために作成する。各ウィンドウのエネルギー範囲，作成される各ウィンドウの比を Table 5.2 に示す。またスペクトル解析後についても同様のファイルが作成される。

(5) 図形出力

① フィデュージャル毎のエネルギースペクトル図 (UT02)

2系統 (UPおよびDOWN) の放射線波高スペクトルを, フィデュージャル毎または任意時間幅で積算した出力を示す (出力例 Fig. 5.9)。

② スペクトル3次元表示 (UT10)

フィデュージャル毎の積算スペクトルを前後に重ねて3次的表示したグラフを作成する。作図にあたっては当研究所核融合研究部で開発された作図ルーチン, ARGUS-V4を用いた (出力例 Fig. 5.10)。

③ 線量・高度の時系列表示 (UT04)

G(E)関数による線量換算値, 全吸収エネルギー, 電波高度計, 気圧高度計のアナログ/デジタル値の時系列グラフ化を行う (出力例 Fig. 5.11)。

④ ウィンドウ比の時系列表示 (UT12)

ウィンドウ・ファイルの各ウィンドウ値, 各比の時系列表示を行う (出力例 Fig. 5.12)。

⑤ 頻度分布 (UT13)

各スペクトルについて, 全計数率, 線量率, 吸収エネルギーの頻度の分布を作図する。出力例を Fig. 5.13に示す。グラフは, 高度150 m飛行時におけるDOWN (DET-1024) の検出器の吸収エネルギーを示し, 頻度ピークは500~600 MeV/secのところにあるのを示す。

⑥ 相関図 (UT15)

線量と各ウィンドウ値との相関や, 2系統の検出器の線量相関を図示する。回帰直線式, 相関係数を付する。出力例 Fig. 5.14は, DOWN (DET-1024) の検出器の線量とWINDOW10 (1.35~3.0 MeV) の相関を示す。

⑦ ヘリコプタの飛行軌跡図 (UT08)

MRSからの2距離と高度の情報から, 三角法を用いてヘリコプタの機体を地面へ鉛直下に投影した連続点を結んだものである。これを同縮尺の地勢図等に重ねて, 時刻, 場所の対応をみる。Fig. 5.15は飛行軌跡に線量ファイルからの線量値を丸の大きさと重ねた図である。これは ^{41}Ar の追跡飛行の例である。

⑧ 線量等値線図

Fig. 5.16は軌跡図と軌跡上の点における線量値から, 等値線を描いたものである。この例は渡良瀬遊水池における人工線源を中心とした線量値分布を示す。作図にあたってはARGUS-V4の作図ルーチンを用いた。このような等値線図を描くには, 均一かつ密なデータが必要であるので, 事前にそれを意図した飛行コースを練っておく必要がある。

さらに昭和60年度には, この大型計算機用の解析プログラム, CARDINをミニコンへ移植した。ミニコンには, TOSBAC UX-700を使用している。ミニコンは, 実用システムにおけるデータ記録, カートリッジ磁気テープの読み込みの機能をもち, 同プログラムによる解析が可能である。またカラーの出力図形が得られる。

ミニコンへのCARDINの移植により, 時間の制約をうけず当研究室内での解析が可能となったが, 今後の課題としては, 実行速度が遅い, メモリーを使いすぎる点が残され

ている。これを解消するには、プログラムの簡易計算化、およびデータの間引き、例えば5秒毎のデータを処理する等の工夫が考えられる。緊急時には、このような計算精度を下げたプログラムを使用し、詳細計算はあとで行われる。

Table 5.1 Softwares of data processing programs.

Program	Contents
UT00:	Conversion of raw tapes into usable form (for cartridge magnetic tape).
UT01:	Conversion of raw tapes into usable form (for open-reel magnetic tape).
UT02:	Display of the average spectrum over a fiducial interval.
UT03:	Correction of range data from M.R.S.
UT04:	Plot of exposure rates and total absorption energy with time.
UT05:	Production of window file which contains energy window counts and window ratios.
UT06:	Correction of the recording timing for dose file.
UT07:	Production of the file with co-ordinate survey positions.
UT08:	Display of helicopter's survey lines.
UT09:	Correction of the recording timing for spectral file.
UT10:	Three-dimensional display for the averaged spectra per a fiducial count.
UT11:	Extraction of data in the region of interests.
UT12:	Plot of window ratios from window file.
UT13:	Display of frequency distributions.
UT14:	Analysis of pulse height spectra with stripping method.
UT15:	Display of correlation of window counts and exposures.
UT16:	Production of window file from a stripped spectrum.
UT17:	Exclusion of the noises on spectra.
UT18:	Process by discrimination method.

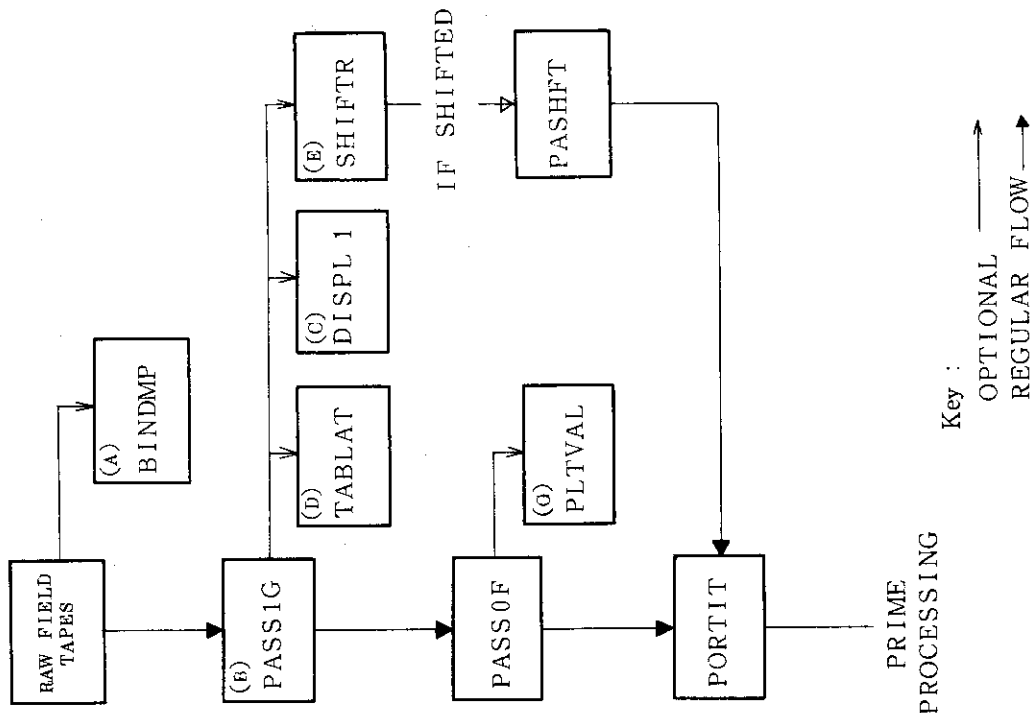
Table 5.2 Windows and window count ratios in window file.

Range of energy windows (Unit:MeV)

Window 1 : 0.05 - 0.4	Window 11 : 0.2 - 0.4
Window 2 : 0.4 - 0.8	Window 12 : 0.6 - 0.8
Window 3 : 0.8 - 1.2	Window 13 : 1.0 - 1.2
Window 4 : 1.2 - 1.6	Window 14 : 1.4 - 1.6
Window 5 : 1.6 - 3.0	Window 15 : 1.8 - 3.0
Window 6 : 1.8 - 3.0	Window 16 : 2.0 - 3.0
Window 7 : 2.0 - 3.0	Window 17 : 2.5 - 3.0
Window 8 : 0.5 - 3.0	
Window 9 : 1.0 - 3.0	
Window10 : 1.35- 3.0	

Window ratios

Window ratio 1	: Window 1 / Window 11
Window ratio 2	: Window 2 / window 12
Window ratio 3	: Window 3 / Window 13
Window ratio 4	: Window 4 / Window 14
Window ratio 5	: Window 5 / Window 15
Window ratio 6	: Window 6 / Window 16
Window ratio 7	: Window 7 / Window 17
Window ratio 8	: Window 8 / Exposure rate
Window ratio 9	: Window 9 / Exposure rate
Window ratio10	: Window10 / Exposure rate



Key :
 OPTIONAL \longleftrightarrow
 REGULAR FLOW \longrightarrow

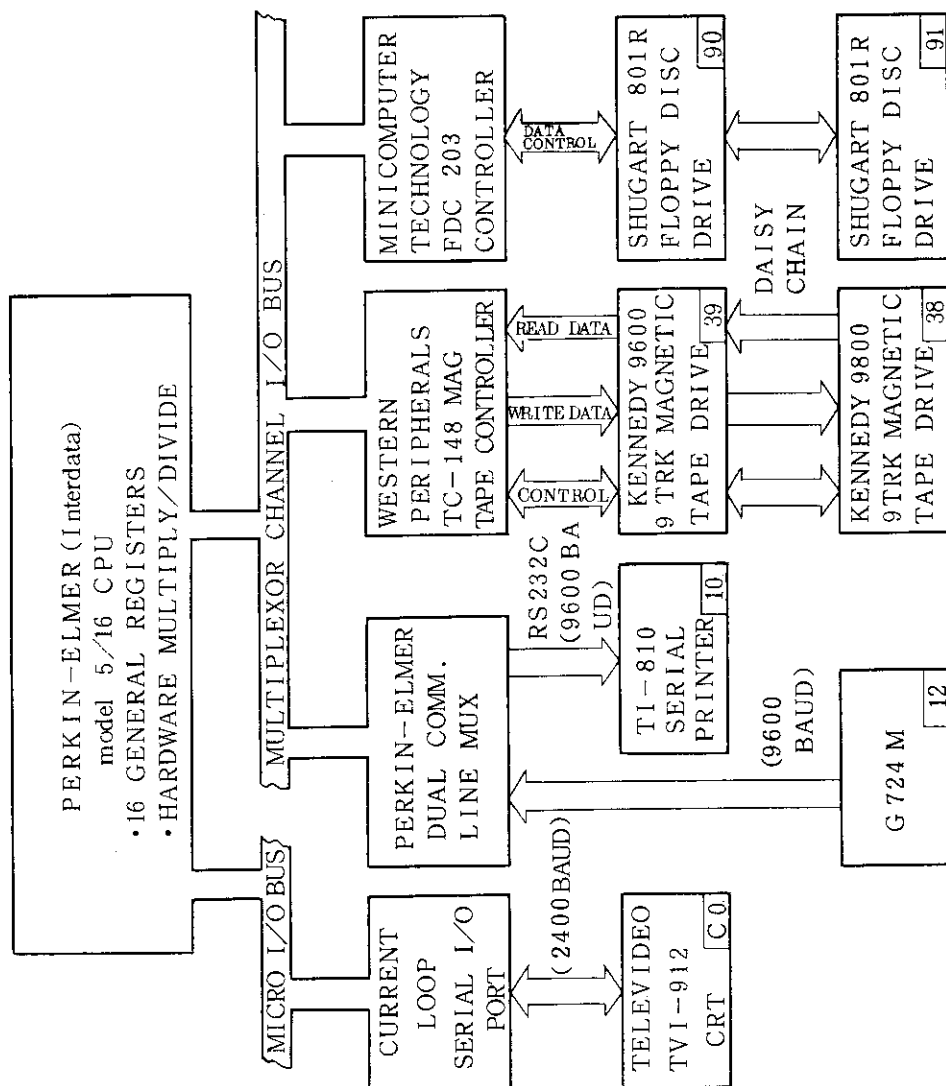


Fig. 5.2 Mini-computer program summary.

Fig. 5.1 Functional block diagram of data processing mini-computer system.

OUTPUT RECORD 513 HAS 1212 BYTES.
 LINE 00000 , DATED 85312, BEGAN AT 10M53S37 AND ENDED AT 11M32S31
 1025 SAMPLES WERE VALID IN THE FIDUCIAL RANGE OF 105837. TO 113231.
 WITH AN AVERAGE COUNT RATE OF 100.1 CPS, WINDOW 1 HAD ITS CENTROID SHIFTED
 WITH AN AVERAGE COUNT RATE OF 12.0 CPS, WINDOW 2 HAD ITS CENTROID SHIFTED
 WITH AN AVERAGE COUNT RATE OF 14.5 CPS, WINDOW 3 HAD ITS CENTROID SHIFTED
 THE AVERAGE COSMIC RATIO FOR THE LINE IS: 0.0000

(EXP. SAMPS - 1,2,4: 7395 14790 29580)
 0.01 CHANNELS, YIELDING 11.78 KEV/CHANNEL.
 -0.18 CHANNELS, YIELDING 11.86 KEV/CHANNEL.
 -0.28 CHANNELS, YIELDING 11.84 KEV/CHANNEL.

JAERI AIRBORNE SURVEY

K40 DN , IN CPS , FOR LINE 00000

T0 75.00 # 8 !**
 T0 90.00 # 147 !*****
 T0 105.00 # 556 !*****
 T0 120.00 # 279 !*****
 T0 135.00 # 32 !*****
 T0 150.00 # 1 !*

THE MINIMUM K40 DN IS 66.744 CPS
 THE MAXIMUM K40 DN IS 137.650 CPS

THE AVERAGE K40 DN IS 100.058 CPS
 THE STANDARD DEVIATION IS 10.1806 CPS

JAERI AIRBORNE SURVEY

URANIUM DN , IN CPS , FOR LINE 00000

T0 2.50 # 1 !*
 T0 5.00 # 8 !***
 T0 7.50 # 95 !*****
 T0 10.00 # 152 !*****
 T0 12.50 # 352 !*****
 T0 15.00 # 211 !*****
 T0 17.50 # 142 !*****
 T0 20.00 # 44 !*****
 T0 22.50 # 16 !*****
 T0 25.00 # 3 !**
 > 25.00 # 1 !*

THE MINIMUM URANIUM DN IS 2.023 CPS
 THE MAXIMUM URANIUM DN IS 25.292 CPS

THE AVERAGE URANIUM DN IS 11.994 CPS
 THE STANDARD DEVIATION IS 3.4640 CPS

JAERI AIRBORNE SURVEY

TL208 DN , IN CPS , FOR LINE 00000

T0 7.50 # 33 !*****
 T0 10.00 # 55 !*****
 T0 12.50 # 220 !*****
 T0 15.00 # 250 !*****

Fig. 5.4 Sample output of PASSIN.

12 MAR 1985 RESOLUTION TEST CS-137 FOR		DET-1024	
DOWNWARD-LOOKING CRYSTAL SPECTRUM FOR LINE 00000 , DATED 85312			
TOTAL NUMBER OF SAMPLES = 1073			
TC (0-6 MEV)	3805.23	TC (0.4-3.0 MEV)	1427.10
K (1.46 MEV)	100.22	U (1.76 MEV)	12.04
		T (2.62 MEV)	14.49
		COSMIC (3-6 MEV)	4.56
CH 0 (0.000 MEV)	0.000	CPS	*
CH 1 (0.012 MEV)	0.000	CPS	*
CH 2 (0.024 MEV)	0.000	CPS	*
CH 3 (0.035 MEV)	7.057	CPS	****
CH 4 (0.047 MEV)	60.744	CPS	*****
CH 5 (0.059 MEV)	181.471	CPS	*****
CH 6 (0.071 MEV)	144.259	CPS	*****
CH 7 (0.083 MEV)	195.028	CPS	*****
CH 8 (0.095 MEV)	146.514	CPS	*****
CH 9 (0.106 MEV)	129.210	CPS	*****
CH 10 (0.118 MEV)	121.320	CPS	*****
CH 11 (0.130 MEV)	112.912	CPS	*****
CH 12 (0.142 MEV)	104.510	CPS	*****
CH 13 (0.154 MEV)	96.824	CPS	*****
CH 14 (0.165 MEV)	93.941	CPS	*****
CH 15 (0.177 MEV)	97.020	CPS	*****
CH 16 (0.189 MEV)	93.370	CPS	*****
CH 17 (0.201 MEV)	84.853	CPS	*****
CH 18 (0.213 MEV)	76.415	CPS	*****
CH 19 (0.225 MEV)	70.666	CPS	*****
CH 20 (0.236 MEV)	64.457	CPS	*****
CH 21 (0.248 MEV)	54.951	CPS	*****
CH 22 (0.260 MEV)	50.361	CPS	*****
CH 23 (0.272 MEV)	46.777	CPS	*****
CH 24 (0.284 MEV)	43.909	CPS	*****
CH 25 (0.295 MEV)	40.160	CPS	*****
CH 26 (0.307 MEV)	37.479	CPS	*****
CH 27 (0.319 MEV)	36.027	CPS	*****
CH 28 (0.331 MEV)	35.079	CPS	*****
CH 29 (0.343 MEV)	33.174	CPS	*****
CH 30 (0.355 MEV)	31.461	CPS	*****
CH 31 (0.366 MEV)	29.730	CPS	*****
CH 32 (0.378 MEV)	27.248	CPS	*****
CH 33 (0.390 MEV)	26.647	CPS	*****
CH 34 (0.402 MEV)	26.229	CPS	***** TOTAL COUNT
CH 35 (0.414 MEV)	26.178	CPS	*****
CH 36 (0.426 MEV)	25.156	CPS	*****
CH 37 (0.437 MEV)	23.936	CPS	*****
CH 38 (0.449 MEV)	22.230	CPS	*****
CH 39 (0.461 MEV)	20.290	CPS	*****
CH 40 (0.473 MEV)	18.174	CPS	*****
CH 41 (0.485 MEV)	16.841	CPS	*****
CH 42 (0.496 MEV)	16.225	CPS	*****
CH 43 (0.508 MEV)	15.597	CPS	*****
CH 44 (0.520 MEV)	14.844	CPS	*****
CH 45 (0.532 MEV)	13.556	CPS	*****
CH 46 (0.544 MEV)	12.976	CPS	*****
CH 47 (0.556 MEV)	13.645	CPS	*****
CH 48 (0.567 MEV)	13.977	CPS	*****
CH 49 (0.579 MEV)	14.891	CPS	*****
CH 50 (0.591 MEV)	16.603	CPS	*****
CH 51 (0.603 MEV)	21.258	CPS	*****
CH 52 (0.615 MEV)	33.452	CPS	*****
CH 53 (0.626 MEV)	57.504	CPS	*****
CH 54 (0.638 MEV)	94.022	CPS	*****
CH 55 (0.650 MEV)	127.294	CPS	*****
CH 56 (0.662 MEV)	133.199	CPS	*****
CH 57 (0.674 MEV)	110.784	CPS	*****
CH 58 (0.686 MEV)	74.767	CPS	*****
CH 59 (0.697 MEV)	42.396	CPS	*****
CH 60 (0.709 MEV)	21.900	CPS	*****
CH 61 (0.721 MEV)	12.348	CPS	*****
CH 62 (0.733 MEV)	8.900	CPS	****
CH 63 (0.745 MEV)	7.589	CPS	****
CH 64 (0.756 MEV)	6.677	CPS	****
CH 65 (0.768 MEV)	6.268	CPS	****
CH 66 (0.780 MEV)	5.999	CPS	****
CH 67 (0.792 MEV)	5.738	CPS	****
CH 68 (0.804 MEV)	5.668	CPS	****
CH 69 (0.816 MEV)	5.237	CPS	****
CH 70 (0.827 MEV)	5.332	CPS	****
CH 71 (0.839 MEV)	5.242	CPS	****
CH 72 (0.851 MEV)	5.127	CPS	****
CH 73 (0.863 MEV)	5.126	CPS	****
CH 74 (0.875 MEV)	5.308	CPS	****
CH 75 (0.887 MEV)	5.509	CPS	****
CH 76 (0.898 MEV)	5.625	CPS	****
CH 77 (0.910 MEV)	5.699	CPS	****

Fig. 5.5 Sample output of DISPL1.

FLT 11 - 15 NOV 1983 - TOKAI AREA

DOWNWARD-LOOKING CRYSTAL DATA - NO BACKGROUND REMOVED

LINE	K	U	UWIDE	T	COS	TC	NSAMP	LIVETIME	EZERO	DELTA E	SHIFT
00000	7.80	2.32	12.35	2.79	4.29	95.32	132	0.9992	0.00	0.0000	UN
00002	2.56	0.77	4.20	0.64	4.68	31.03	567	0.9997	0.00	0.0000	UN
00003	1.42	0.46	2.48	0.24	4.77	16.66	158	0.9998	0.00	0.0000	UN
00004	3.58	1.04	5.96	1.38	4.26	46.06	50	0.9996	0.00	0.0000	UN
00005	3.72	1.30	5.30	0.85	4.53	43.40	47	0.9996	0.00	0.0000	UN
00006	4.12	1.61	7.65	1.16	4.42	55.99	110	0.9995	0.00	0.0000	UN
00007	3.47	1.09	6.13	0.91	4.51	45.27	112	0.9996	0.00	0.0000	UN
00008	2.59	1.09	5.02	0.85	4.66	37.81	59	0.9997	0.00	0.0000	UN
00009	2.60	1.04	4.96	0.72	4.28	36.03	47	0.9997	0.00	0.0000	UN
00010	2.94	0.93	5.01	0.62	4.48	37.72	203	0.9997	0.00	0.0000	UN
00011	3.80	0.75	5.63	0.85	4.51	46.63	80	0.9996	0.00	0.0000	UN
00012	1.26	0.46	2.37	0.23	4.56	15.26	606	0.9998	0.00	0.0000	UN
00013	1.65	0.43	2.71	0.21	4.63	18.14	92	0.9998	0.00	0.0000	UN
00014	3.43	1.07	5.89	0.78	4.74	42.07	54	0.9996	0.00	0.0000	UN
00015	3.49	1.03	5.83	0.81	4.31	42.00	59	0.9996	0.00	0.0000	UN
00016	2.61	1.00	5.12	0.66	4.82	38.25	219	0.9996	0.00	0.0000	UN
00017	3.95	1.37	7.54	0.90	4.93	52.63	41	0.9995	0.00	0.0000	UN
00018	3.66	1.14	6.96	0.84	4.43	50.08	118	0.9996	0.00	0.0000	UN
00019	4.62	1.48	7.60	1.12	4.18	60.15	50	0.9995	0.00	0.0000	UN
00020	3.93	1.39	7.60	1.41	4.60	54.82	59	0.9995	0.00	0.0000	UN
00021	2.65	1.01	5.68	0.66	4.70	39.10	113	0.9996	0.00	0.0000	UN
00022	2.98	0.96	5.01	0.65	4.41	38.68	94	0.9996	0.00	0.0000	UN
00023	3.15	0.93	5.14	0.77	4.54	37.99	116	0.9997	0.00	0.0000	UN
00024	3.63	1.07	5.82	0.73	4.73	44.24	81	0.9996	0.00	0.0000	UN
00025	3.72	1.15	6.15	0.98	4.89	46.91	79	0.9996	0.00	0.0000	UN
00026	2.95	1.09	5.36	0.66	4.81	37.01	220	0.9997	0.00	0.0000	UN
00027	2.99	1.29	5.44	0.94	4.53	37.79	77	0.9997	0.00	0.0000	UN
00028	2.43	0.83	4.93	0.80	4.77	39.28	30	0.9996	0.00	0.0000	UN
00029	1.44	0.74	3.56	0.29	4.58	20.52	333	0.9998	0.00	0.0000	UN
00030	2.87	1.30	6.05	0.72	4.55	39.28	587	0.9996	0.00	0.0000	UN
00031	8.56	2.67	13.16	2.48	4.41	100.04	27	0.9992	0.00	0.0000	UN

Fig. 5.6 Sample output of TABLAT.

SPECTRUM FOR LINE 00006 , DATED 85312 ... FROM CHANNEL 48 THRU CHANNEL 64 CENTROID =	55.76 STD DEV =	1.97 RESOLUTION =	8.31 AVG RAW CPS =	797.56
SPECTRUM FOR LINE 00001 , DATED 85312 ... FROM CHANNEL 48 THRU CHANNEL 64 CENTROID =	57.83 STD DEV =	2.38 RESOLUTION =	8.67 AVG RAW CPS =	541.4
SPECTRUM FOR LINE 00002 , DATED 85312 ...				
SPECTRUM FOR LINE 00003 , DATED 85312 ... FROM CHANNEL 48 THRU CHANNEL 64 CENTROID =	56.77 STD DEV =	1.83 RESOLUTION =	7.56 AVG RAW CPS =	625.65
SPECTRUM FOR LINE 00004 , DATED 85312 ... FROM CHANNEL 48 THRU CHANNEL 64 CENTROID =	56.35 STD DEV =	1.81 RESOLUTION =	7.57 AVG RAW CPS =	623.56
SPECTRUM FOR LINE 00005 , DATED 85312 ... FROM CHANNEL 48 THRU CHANNEL 64 CENTROID =	55.92 STD DEV =	1.78 RESOLUTION =	7.50 AVG RAW CPS =	625.32
SPECTRUM FOR LINE 00006 , DATED 85312 ... FROM CHANNEL 48 THRU CHANNEL 64 CENTROID =	55.56 STD DEV =	1.77 RESOLUTION =	7.47 AVG RAW CPS =	630.75
SPECTRUM FOR LINE 00007 , DATED 85312 ... FROM CHANNEL 48 THRU CHANNEL 64 CENTROID =	55.25 STD DEV =	1.74 RESOLUTION =	7.41 AVG RAW CPS =	616.48
SPECTRUM FOR LINE 00008 , DATED 85312 ... FROM CHANNEL 48 THRU CHANNEL 64 CENTROID =	55.09 STD DEV =	1.76 RESOLUTION =	7.52 AVG RAW CPS =	620.58
SPECTRUM FOR LINE 00009 , DATED 85312 ... FROM CHANNEL 48 THRU CHANNEL 64 CENTROID =	55.21 STD DEV =	1.75 RESOLUTION =	7.43 AVG RAW CPS =	611.53
SPECTRUM FOR LINE 00010 , DATED 85312 ... FROM CHANNEL 48 THRU CHANNEL 64 CENTROID =	55.42 STD DEV =	1.74 RESOLUTION =	7.36 AVG RAW CPS =	508.07
SPECTRUM FOR LINE 00011 , DATED 85312 ... FROM CHANNEL 48 THRU CHANNEL 64 CENTROID =	55.45 STD DEV =	1.73 RESOLUTION =	7.33 AVG RAW CPS =	551.00
SPECTRUM FOR LINE 00000 , DATED 85312 ...				
SPECTRUM FOR LINE 00001 , DATED 85312 ...				
SPECTRUM FOR LINE 00002 , DATED 85312 ... FROM CHANNEL 48 THRU CHANNEL 64 CENTROID =	57.09 STD DEV =	1.86 RESOLUTION =	7.66 AVG RAW CPS =	616.81
SPECTRUM FOR LINE 00003 , DATED 85312 ...				

Fig. 5.7 Sample output of SHIFTR.

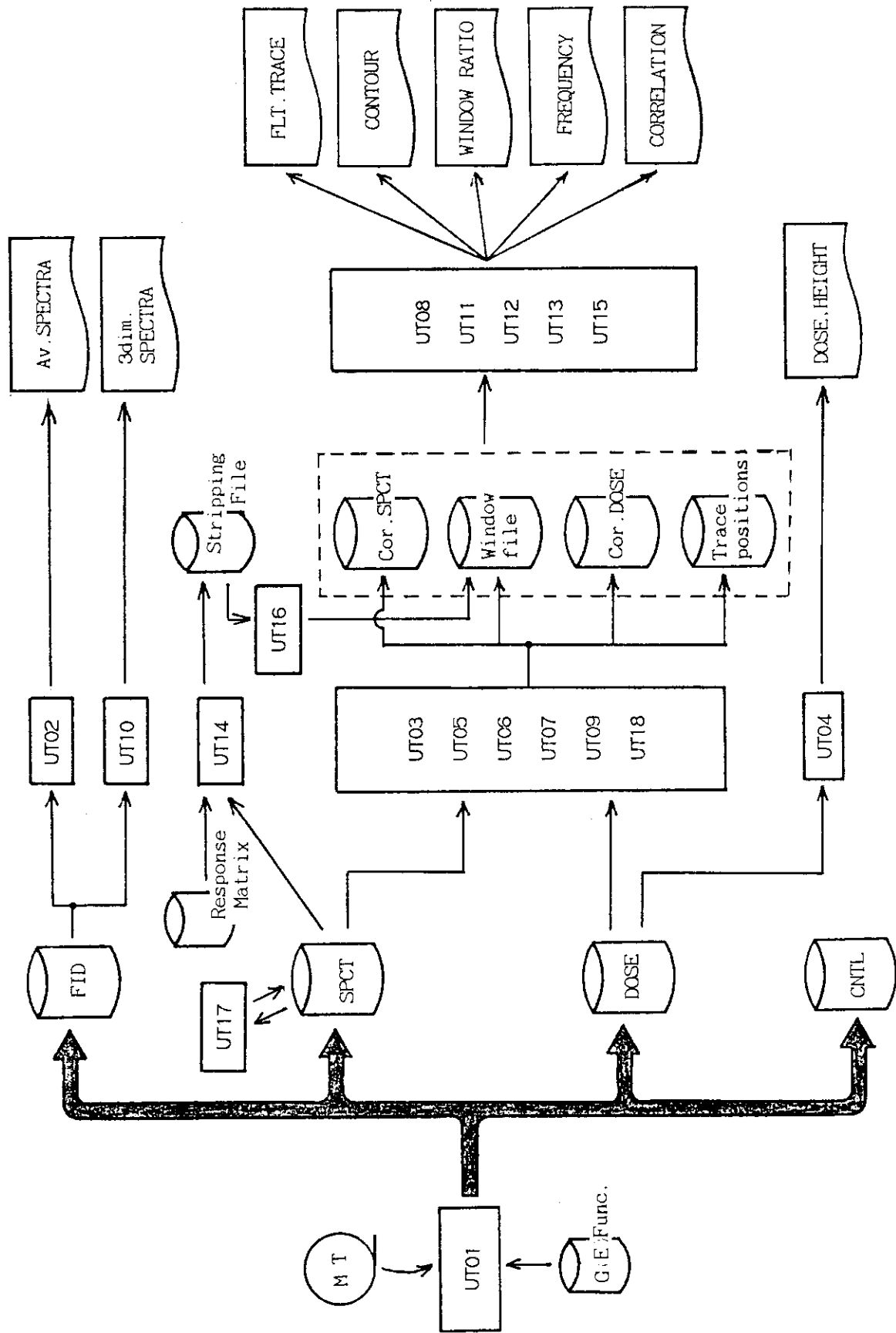


Fig. 5.8 Flow chart of analysis with a large scale computer.

T161 YEAR 1983 NOVEMBER 16 WEDNESDAY

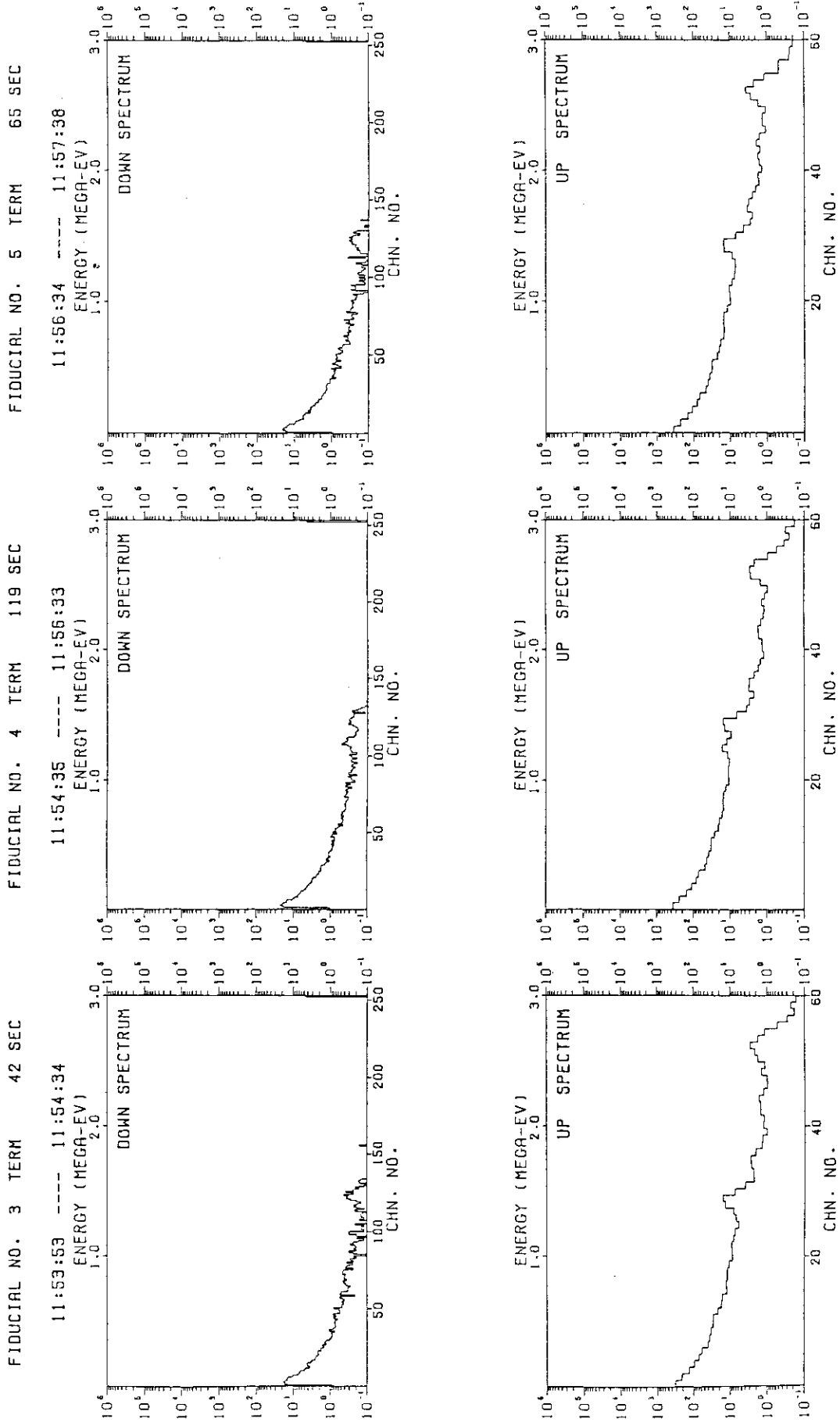
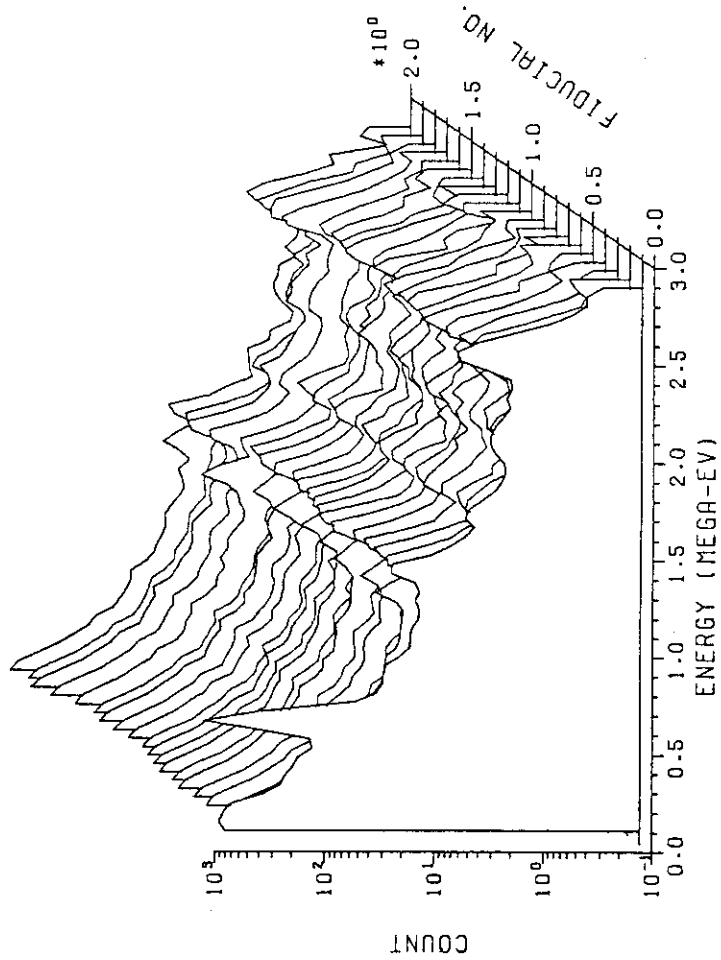


Fig. 5.9 Average energy spectrum over the fiducial interval.

T161 YEAR 1983 NOVEMBER 16 WEDNESDAY UP SPECTRUM



ARGUS-V4 ID=SARVEY 84-06-28 2 PAGE

Fig. 5.10 Three-dimensional display of spectra.

T161 YEAR 1983 NOVEMBER 16 WEDNESDAY

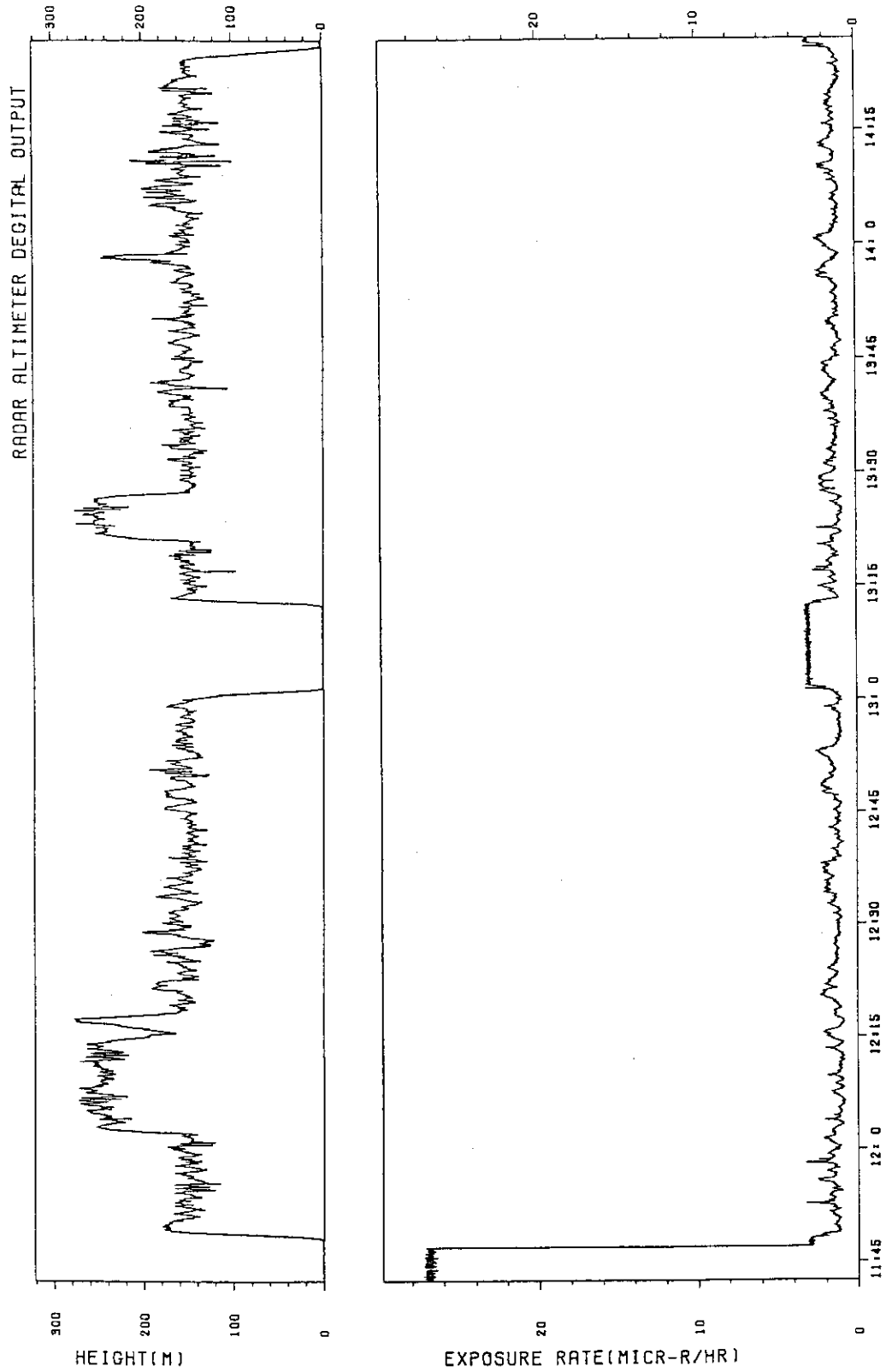


Fig. 5.11 Variations of continuous recording data of exposure rate and flight height.

ON WINDOW T161 YEAR 1983 NOVEMBER 16 WEDNESDAY AVERAGED DATA PER 1 RECORD

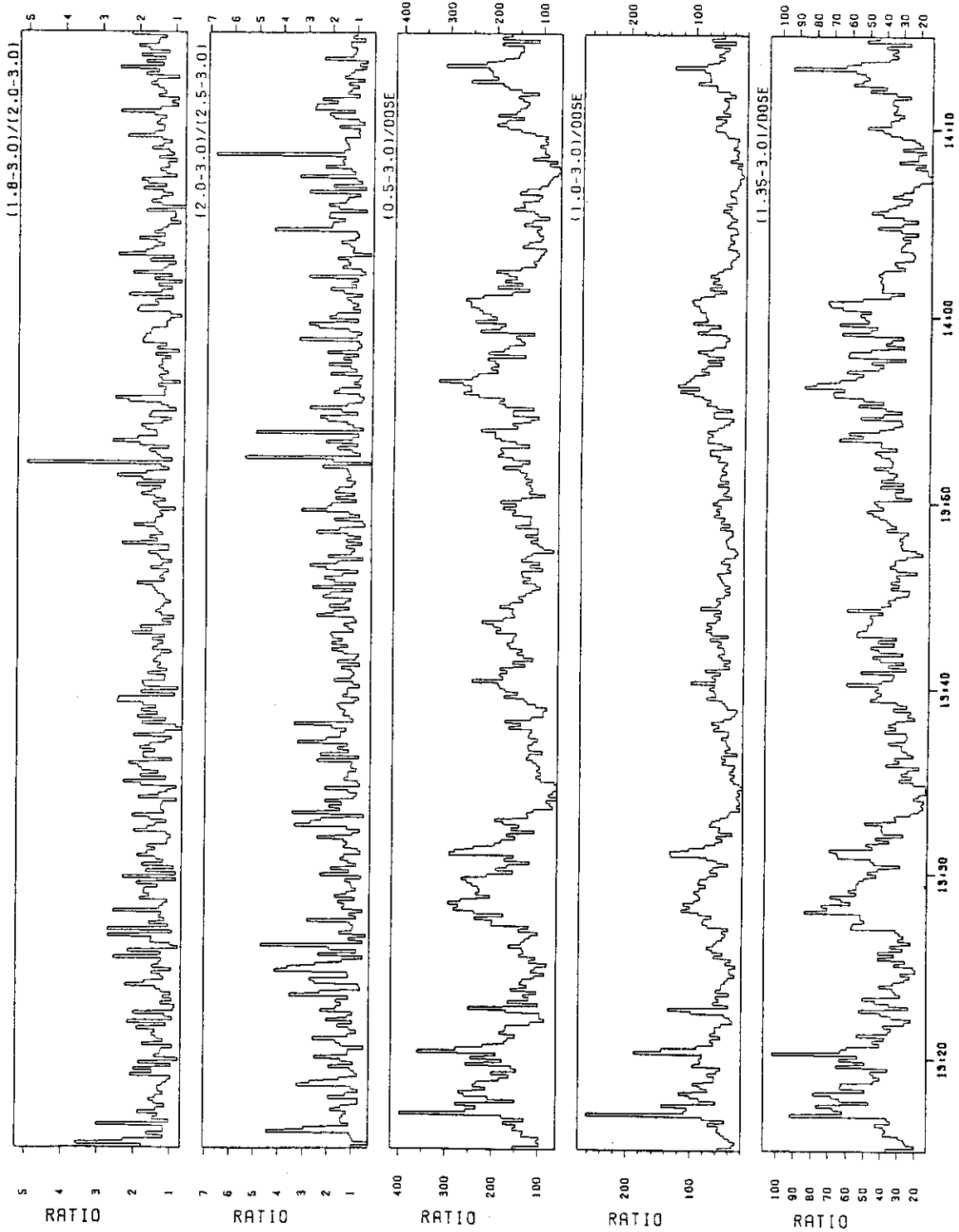


Fig. 5.12 Variation of window count rates.

T161 YEAR 1983 NOVEMBER 16 WEDNESDAY

DOWN ENERGY

AVERAGE = 6.1266E+02

STANDARD DEVIATION = 1.3988E+02

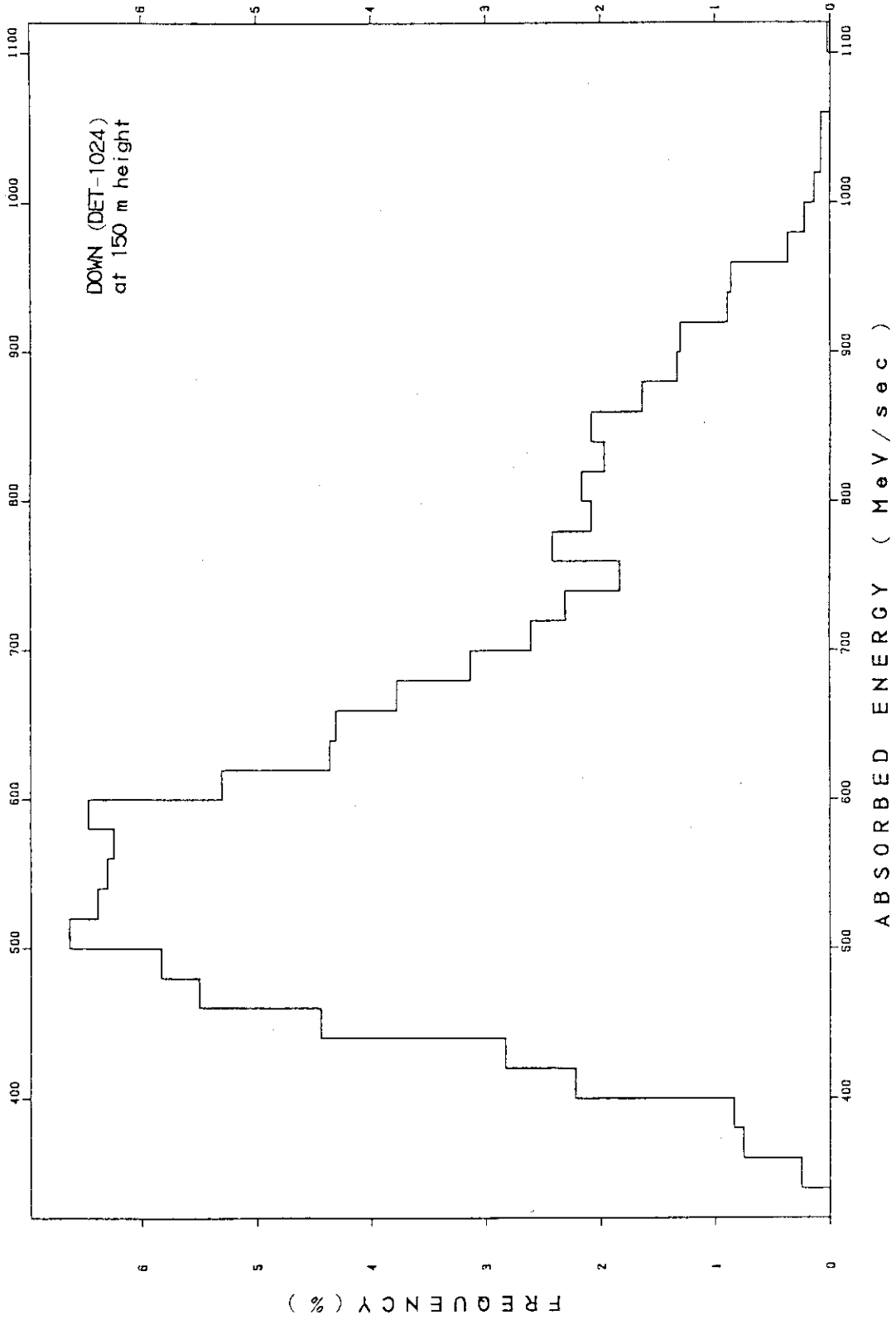


Fig. 5.13 Frequency histogram of absorbed energy.

T161 YEAR 1983 NOVEMBER 16 WEDNESDAY

REVERSION COEFFICIENT = 0.891

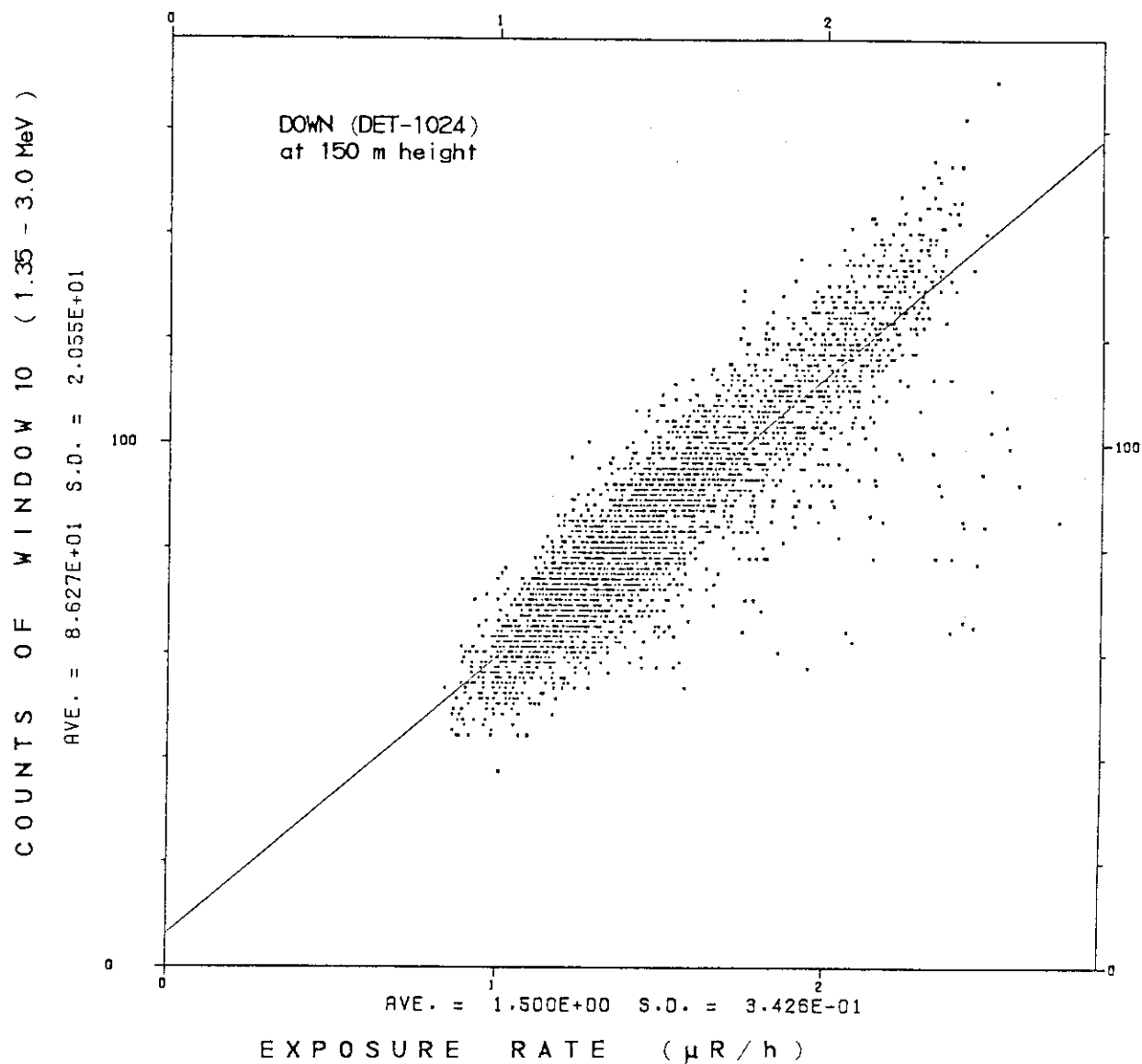


Fig. 5.14 Correlation between the exposure rates and the counts of window 10(1.35-3.0MeV) of the DET-1024 detector.

T161 YEAR 1983 NOVEMBER 16 WEDNESDAY

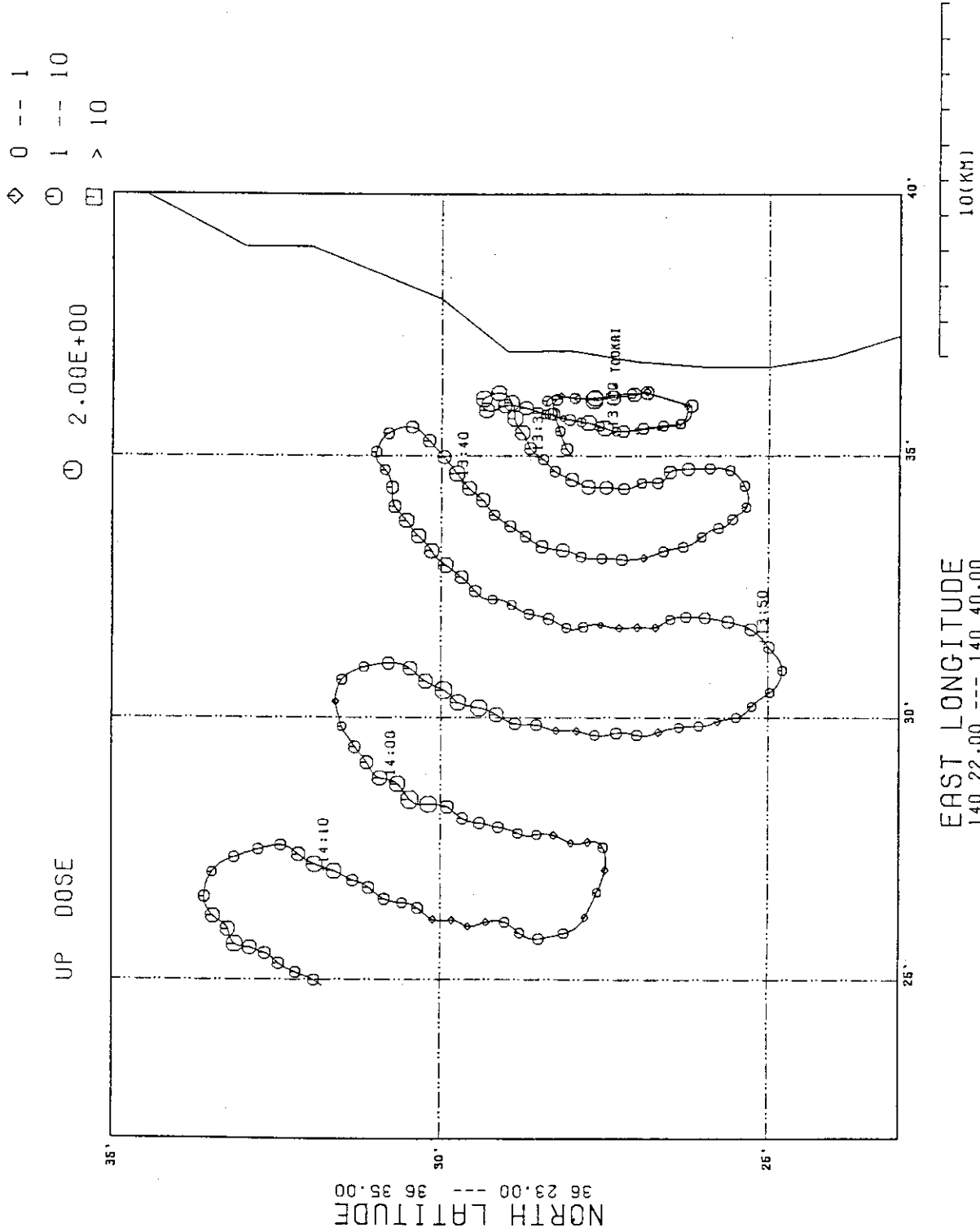


Fig. 5.15 Helicopter trace map adding exposure rate values.

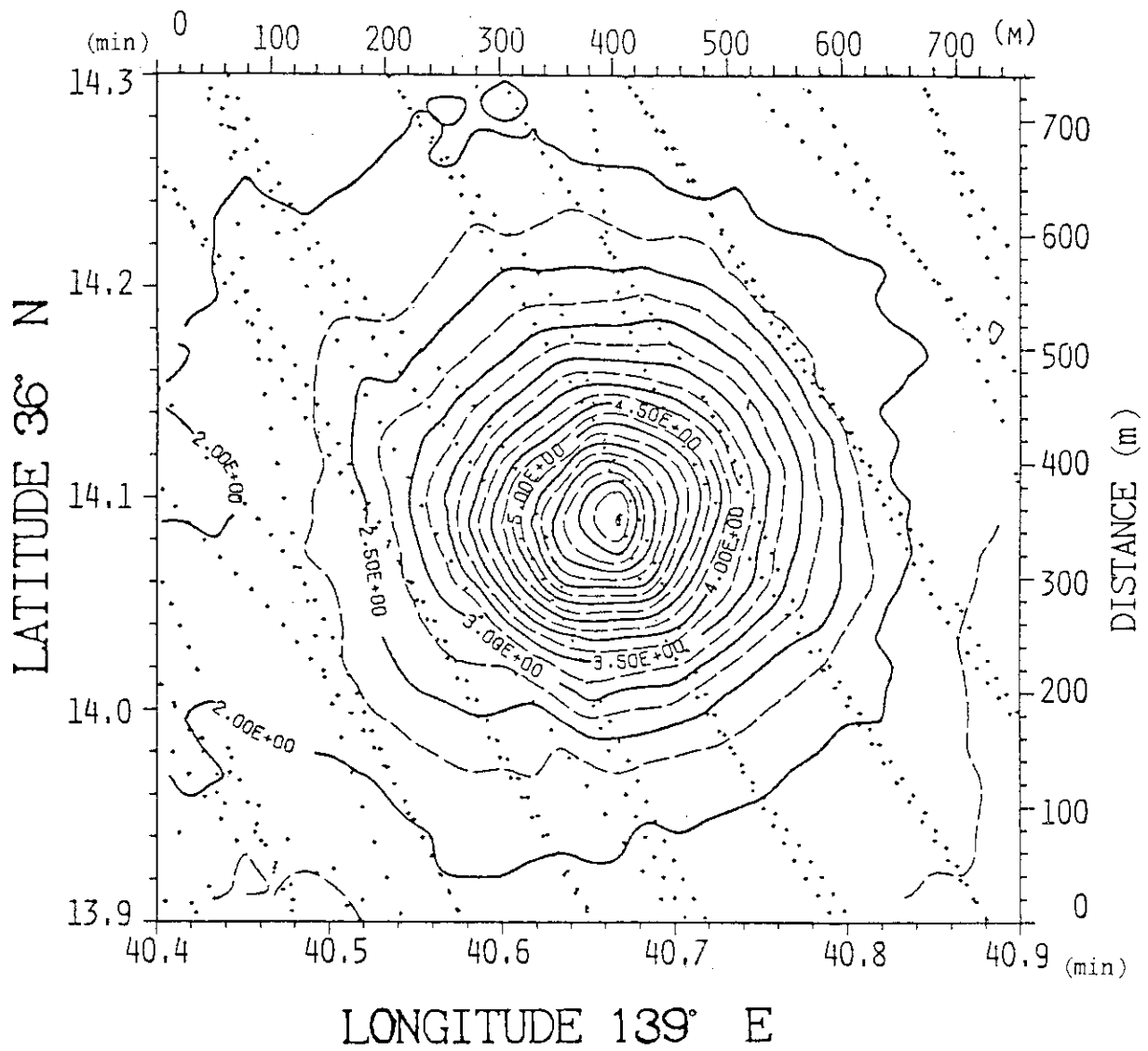


Fig. 5.16 Radiation isopleth map over a 300mCi Cs-137 point source at the height of 150m.



Photo 5.1 Mini-computer data processing system.

6. 結 言

原研では、1980年以來緊急時への迅速線量評価法のため、ヘリコプタを使った空中サーベイを実施し、空間における環境放射線特性、空中サーベイ手法の検討を重ねてきた。放射線測定機器では、米国製の本来地質探査用のガンマ線測定器に改造を加え使用している。検出器には、NaI(Tl)シンチレーション検出器を使用し、50 keV～3 keVのガンマ線波高スペクトルを取得し、宇宙線寄与は3～6 MeVの光子束により除去される。検出器の寸法形状は、対象の放射線場のレベルに応じて、DET-1024大型検出器、5"φ球、5"φx4"、4"φ球、4"φx4"、3"φ球、3"φx3" (DET-21)を備えている。また今年度より、緊急時において予想される高線量率場用に鉛遮蔽体付き2"φx2"検出器の装備を加えた。実用型では線量ユニットを加え、これにより線量率が1μR/h以下から1R/h程度までの線量率レベルがカバーされる。

DET-1024検出器を除いて各検出器では、線量換算用G(E)関数が決定された。DET-1024検出器では、高度150m以上における吸収エネルギーより線量へ換算する手法の妥当性が示された。あわせてDET-1024検出器の簡易モデルによる自然成分別の高度減衰特性等の基礎特性を計算により求めた。

飛行位置の同定のための航法システムには、精度が高いMRSを使用している。精度は±10m内外で測距できる。MRSからの位置データより縮尺を合わせた地図上に飛行軌跡のプロット処理が施され、線上に線量率等の数値を入れることができる。飛行軌跡が密な場合には、等値線図が描かれる。

ビデオを利用した位置標定も並行して実施され、電波の障害が大きい複雑地形での飛行でも、目標物沿い飛行により位置標定ができる等の検討をおこなった。

記録磁気テープのデータ処理において、大型計算機を用いた密な処理フローを確立した。またミニコンを用いた処理も同時に整備された。ミニコンは、ハードディスクを備えた32ビットミニコンに置き換えられ、大型計算機用の処理コードが移植された。

謝 辞

ヘリコプタのチャーター会社である中日本航空(株)の方々には、測定システムのヘリコプタへの搭載に伴う改修のための諸作業、ヘリコプタ搭載の会社側測定、装置からのデータ取り込みにおける整合調整作業のほか、ヘリコプタの安全運航等、各面にわたり御尽力を戴いた。ここに、深く感謝の意を表する。

また本報告書の作成にあたり、御指導をいただいた環境安全研究部今井和彦部長に感謝します。

6. 結 言

原研では、1980年以來緊急時への迅速線量評価法のため、ヘリコプタを使った空中サーベイを実施し、空間における環境放射線特性、空中サーベイ手法の検討を重ねてきた。放射線測定機器では、米国製の本来地質探査用のガンマ線測定器に改造を加え使用している。検出器には、NaI(Tl)シンチレーション検出器を使用し、50 keV～3 keVのガンマ線波高スペクトルを取得し、宇宙線寄与は3～6 MeVの光子束により除去される。検出器の寸法形状は、対象の放射線場のレベルに応じて、DET-1024大型検出器、5"φ球、5"φ×4"、4"φ球、4"φ×4"、3"φ球、3"φ×3" (DET-21)を備えている。また今年度より、緊急時において予想される高線量率場用に鉛遮蔽体付き2"φ×2"検出器の装備を加えた。実用型では線量ユニットを加え、これにより線量率が1μR/h以下から1R/h程度までの線量率レベルがカバーされる。

DET-1024検出器を除いて各検出器では、線量換算用G(E)関数が決定された。DET-1024検出器では、高度150m以上における吸収エネルギーより線量へ換算する手法の妥当性が示された。あわせてDET-1024検出器の簡易モデルによる自然成分別の高度減衰特性等の基礎特性を計算により求めた。

飛行位置の同定のための航法システムには、精度が高いMRSを使用している。精度は±10m内外で測距できる。MRSからの位置データより縮尺を合わせた地図上に飛行軌跡のプロット処理が施され、線上に線量率等の数値を入れることができる。飛行軌跡が密な場合には、等値線図が描かれる。

ビデオを利用した位置標定も並行して実施され、電波の障害が大きい複雑地形での飛行でも、目標物沿い飛行により位置標定ができる等の検討をおこなった。

記録磁気テープのデータ処理において、大型計算機を用いた密な処理フローを確立した。またミニコンを用いた処理も同時に整備された。ミニコンは、ハードディスクを備えた32ビットミニコンに置き換えられ、大型計算機用の処理コードが移植された。

謝 辞

ヘリコプタのチャーター会社である中日本航空^(株)の方々には、測定システムのヘリコプタへの搭載に伴う改修のための諸作業、ヘリコプタ搭載の会社側測定、装置からのデータ取り込みにおける整合調整作業のほか、ヘリコプタの安全運航等、各方面にわたり御尽力を戴いた。ここに、深く感謝の意を表する。

また本報告書の作成にあたり、御指導をいただいた環境安全研究部今井和彦部長に感謝します。

参 考 文 献

- 1) Boyns, P. K., "The Aerial Radiological Measuring System (ARMS) - System, Procedures and Sensitivity (1976)," EG&G Report No. EGG-1183-1691, July 1976.
- 2) Jobst, J. E., "The Aerial Measuring Systems Program," Nuclear Safety, 20(2), 136-147, (1979).
- 3) 坂本隆一, 斎藤公明, 堤正博, 長岡鋭, 森内茂: "航空機ガンマ線サーベイシステムの開発Ⅱ - バックグラウンド放射線の基礎特性調査," JAERI-M 86-020 (1986).
- 4) 長岡鋭, 坂本隆一, 斎藤公明, 堤正博, 宮坂聡, 森内茂: "航空機ガンマ線サーベイシステムの開発Ⅲ - 人工放射線場における測定実験の解析," JAERI-M 84-241 (1985).
- 5) 斎藤公明, 長岡鋭, 坂本隆一, 堤正博, 森内茂, : "航空機ガンマ線サーベイシステムの開発Ⅳ - 野外実験のシミュレーション計算とガンマ線特性基礎データの蓄積," JAERI-M 85-004 (1985).
- 6) Gummer, W. K. et al., "COSMOS 954 - The Occurrence and Nature of Recovered Debris," Canadian Government Publishing Center, INFO-0006, MAY, (1980).
- 7) Weissman, V. F. and Hand, J. E., "ARMS Aircraft Recovery of Lost Cobalt-60 Source," EG&G Report No. EGG-1183-1395, July 23, (1968).
- 8) 斎藤公明, 森内茂, "Monte Carlo calculation of accurate response function for a NaI (T1) detector for gamma-rays," Nucl. Instr. and Meth., Vol. 185, (1981).
- 9) 斎藤公明, 森内茂, "モンテカルロ法を用いたNaI (T1) 検出器応答関数の高精度計算とスペクトル形成過程の解明," JAERI-M 9741 (1981).
- 10) 斎藤公明, 森内茂, "Monte Carlo calculation of NaI (T1) detector response functions for low energy gamma rays," Nucl. Instr. and Meth., Vol. 226, Oct. (1984).
- 11) 斎藤公明, 森内茂, "Development of a Monte Carlo code for the calculation of gamma ray transport in the natural environment," Radiation Protection Dosimetry, (to be published).
- 12) 森内茂, "スペクトル荷重関数方式による環境 γ 線線量測定器に関する研究," JAERI-M 7066 (1977).

Appendix : Table A. 1. G-714 Keyboard commands

COMD, A, EXEC	Forward— spaces the tape one record.
COMD, B, EXEC	Back—spaces the tape one record.
COMD, F, EXEC	Sets up the display for the Fiducial Counter.
COMD, H, EXEC	Sets up the display for the Header.
COMD, J, EXEC	Sets up the display for Julian Clock data.
COMD, R, EXEC	Rewinds the tape to the BOT markar.
COMD, T,P, EXEC	Starts the tape playback mode. The tape playback is stopped by "# " key.
COMD, U, EXEC	Writes an EOF mark on the tape.
COMD, X, EXEC	Displays the Header.
COMD, Y, EXEC	Displays the Fiducial Count.
COMD, Z, EXEC	Displays the Julian Clock.