修士論文

ASTRO-D 衛星搭載 GIS 信号処理系の較正

東京大学大学院 理学系研究科 物理学専攻
修士課程 2 年
石崎 欣尚

平成 5 年 1 月

概要

平成 5 年 2 月 20 日に打ち上げられた X 線天文衛星「あすか」(ASTRO-D) に搭載された GIS 装置 (Gas Imaging Spectrometer) の信号処理系について、計画した通りの性能を持っているかどうか調べ、その結果をまとめた。

1 章では ASTRO-D 計画について、その意義や搭載される機器などについて簡単に紹介を行なう。

2 章では、特に GIS について、その構造や原理など、この論文を理解するに必要と思われる GIS の基礎知識をまとめた。

3 章では、私が中心に開発を行なった QL (Quick Look) ソフトと呼ばれるプログラムについて論じた。 QL ソフトとは衛星から送られてくる情報をリアルタイムで処理しコンピュータのディスプレイに表示を行なうソフトの総称であり、地上での試験や衛星打ち上げ後の運用で使われた。この章では、 QL ソフトがどういう場面で必要となったかや、どのような機能を持っているかがまとめられている。

4 章では、 GIS の電子回路部について信号の流れに沿って説明しつつ、それぞれの機能が正しく実現されているか調べた。調査の結果、改善すべきと思われた点は修正され、 GIS の電子回路部はより信頼性の高いものとなった。特に、タイミング処理回路や、ハードウェアによるバックグラウンドの除去回路について詳しく述べられている。

目 次

第 1 章

ASTRO-D 計画の概要

1.1 X 線天文学

X 線天文学が扱うのは光子のエネルギーにして $1 \sim 30$ keV、波長にすれば $0.3 \sim 10$A 程度の X 線である。この波長域の光 (X 線) は、地球の大気上層部で吸収されてしまい、地上に届くことはまずありえない (図 1.1)。そのため、X 線で宇宙を見るためには気球、ロケット、人工衛星などの飛翔体が不可欠である。現在では、長期に渡って定常的な観測ができる人工衛星を使うのが主流である。

このような理由で、宇宙からの X 線が初めて観測されたのはロケット技術が発達してきた 1962 年のことであった[1]。その後、*UHURU*[2]、*HEAO-1*[3]、*EINSTEIN*[4]、「ぎんが」[5] などの活躍で X 線天文学は大きく発展し、今や光や電波と並ぶ強力な天体観測手段としてその地位を確立したといえよう。このように X 線天文学が発展した理由としては、X 線が高密度星、活動銀河核、クエーサーなどの宇宙の最も激しい姿を見せていたことや、宇宙 X 線背景放射、銀河や銀河団の間に広がる高温プラズマなど宇宙の生成に関わる重大な情報を含んでいたことが挙げられるだろう。X 線天文学が提出してきた問題にはまだまだ未解決のものが多く、今後の観測が期待される。

---

[1] MIT の ロッシらのグループによって打ち上げられた月の蛍光 X 線観測ロケットで、全天で最も明るい定常 X 線源、さそり座 X-1 が偶然観測された

[2] 1970 年打ち上げ、米国：初の X 線天文衛星

[3] 1977 年打ち上げ、米国：万能型の X 線スペクトル観測衛星

[4] 1978 年打ち上げ、米国：初の X 線ミラー衛星

[5] 1987 年打ち上げ、日本：大面積、低バックグラウンドの X 線スペクトル観測衛星

図 1.1 宇宙から来る電磁波が 1/2、1/10、1/100 に減衰する高度

横軸が電磁波の波長 (下)/ エネルギー (上) で、縦軸が気圧 (左)/ 高度 (右)。 (文献 [1] より)

1.2 ASTRO-D 衛星

ASTRO-D 衛星は、「はくちょう」(1979 年打ち上げ)、「てんま」(同 1983 年)、「ぎんが」(同 1987 年) に続く日本で 4 番目の宇宙 X 線観測衛星であり、1993 年 2 月に打ち上がる予定である。**ASTRO-D** 衛星のキャッチフレーズは、「宇宙のはてを見る」であり、宇宙の深遠探査を主眼に置いて開発されてきた。具体的には集光力の高い X 線望遠鏡と、撮像能力のある低バックグラウンドの検出器の組合せで、これまでにない高い感度を実現しようとしている (表 1.1)。衛星の全体像は図 1.2 のようになっており、多重薄膜 X 線望遠鏡 (**XRT**[6]) が 4 台、その焦点面に撮像型蛍光比例計数管 (**GIS**[7]) と X 線 CCD カメラ (**SIS**[8]) が各 2 台ずつ置かれる。表 1.2に **XRT**、表 1.3に **GIS** と **SIS** の基本性能の一覧を示す。

1.2.1 多重薄膜 X 線望遠鏡 (XRT)

XRT は日本と米国の国際協力で開発が行なわれ、設計、製作は NASA のゴダード研究所、X 線および可視光による性能試験は名古屋大と宇宙科学研究所が中心となって進められてきた。望遠鏡の焦点距離は 3.5m でロケットに収まりきらない[9] ため、光学ベンチは打ち上げ時に縮めておき、軌道にのった後で伸ばすということをする。

X 線の望遠鏡としては、一般に Wolter I 型と呼ばれる光学系が使われる。これは、図 1.4 に示したように、回転放物面と回転双曲面の 2 枚組のミラ−を用いて結像させるタイプのものである。数 keV 程度のエネルギーを持つ X 線は大変小さな入射角 ($0.5^\circ \sim 1^\circ$) でなければ反射されないため、このような斜入射型の反射望遠鏡が必要になる。

EINSTEIN (1978 打ち上げ)、*ROSAT* (同 1990) などの X 線観測衛星は、肉厚 10 mm 以上の石英ガラスを研磨して X 線の波長レベルで精密な鏡面を作り、4 枚同軸にネスティングして用いて、数秒角の角度分解能を達成している。しかし、この方法では 1 枚のミラーが厚いためネスト数が限られ、有効面積は開口面積の 20% にも達しない。さらに、少ないネスト数で有効面積を稼ぐために入射角を $\sim 2^\circ$ と大きくとられるため、~ 4 keV 以下の軟 X 線領域にしか感度を持つことができない。重量も望遠鏡だけで 1 トン以上になり、日本の衛星ではそれだけで重量オーバーである。

ASTRO-D では、多少の角度分解能を犠牲にする代わりに、X 線天文学において輻射機構の解明のカギとなる鉄輝線 ($6.4 \sim 6.7$ keV) を含む 10 keV までを 500 cm^2 以上の有効面積で集光することを目標にした。そのためには、入射角を小さく[10]すること、望遠鏡の開口面積をなるべく有効に使うこと、重量制限をクリアするために超軽量であることが必要である。これらの要求を満たす望遠鏡として、**XRT** にはゴダード研究所の Peter J. Serlemitsos が提案、開発してきた多重薄膜 X 線望遠鏡を採用した。

XRT は回転放物面と回転双曲面を円錐 2 段で近似したアルミ薄膜[11]で製作する。当然、角度分解能は数分と悪くなるが、125 μm と極限まで薄くしたアルミ薄膜を約 1 mm 間隔で 119 枚同心円上に並べることで、開口面積の 50% 以上の有効面積を実現でき、重量的にも 9.5 kg と 2 桁近く軽くなる。また、入射角も中心部で 0.24°、一番外側で 0.70° と大変小さくなっており、高いエネルギーまで感度を持つ。図 1.5 に望遠鏡の有効面積を *EINSTEIN*、*ROSAT* などと比較したグラフを示すが、**ASTRO-D** がこれまでにない高い集光力を持つことが見てとれよう。

---

[6] X-Ray Telescope

[7] Gas Imaging Spectrometer

[8] Solid state Imaging Spectrometer

[9] ロケットに搭載できる衛星の長さは 2.8m に制限されている。

[10] 金を蒸着した場合、7 keV の X 線が全反射する臨界角は約 0.7° である。

[11] アクリルコーティング ($10 \sim 20$ μm) で表面を滑らかにし、その上に反射率を上げるため金 (50 nm) を蒸着している。

	はくちょう (Corsa-A)	てんま (ASTRO-B)	ぎんが (ASTRO-C)	**ASTRO-D**
活躍期間	1979.2–1983	1983.2–1984	1987.2–1991.11	1993.2–
衛星重量 (kg)	96	220	430	420
有効面積 (cm^2)	80	640	4000	1000
主観測装置	Xe PC	Xe SPC	Ar+Xe PC	**XRT+GIS/SIS**
エネルギー範囲 (keV)	2 ～ 20	2 ～ 30	2 ～ 30	0.2 ～ 15
視野の大きさ	$5.8^\circ \times 5.8^\circ$	直径 3°	$1^\circ \times 2^\circ$	直径 0.5°
位置分解能	なし	なし	なし	3 分角
検出限界 (mCrab)	20	1	0.2	0.005

表 1.1　**ASTRO-D** と日本のこれまでの X 線観測衛星の比較

PC: Proportional Counter(比例計数管)、 SPC: Scintillation Proportional Counter(蛍光比例計数管)
検出限界は、観測時間を 1 万秒とした時。　(文献 [4] より)

図 1.2　**ASTRO-D** 衛星模式図

有効面積 (4 台の合計)	$\sim$ 1300 cm^2(1 keV) $\sim$ 600 cm^2(7 keV)
エネルギー帯域	$\leq$ 10 keV (最大値の 20%)
視野	$\sim$ 24 分角 (1 keV での半値全幅)、$\sim$ 16 分角 (同 7 keV)
結像精度	$\sim$ 2.9 分角 (HPD[a])
入射角	0.24° $\sim$ 0.70°
重量	$\sim$ 9.5 kg/1 台
焦点距離	3500 mm

---

[a] 望遠鏡で反射された X 線光子のうち、半分が含まれる円の直径

表 1.2　**XRT** の基本性能

(文献 [2] より)

	GIS	**SIS**
エネルギー帯域	0.7 $\sim$ 15 keV(標準 HV 時)	0.2 $\sim$ 10 keV
エネルギー分解能[a]	7.9%	2.1%
視野	直径 50 mm の円	22 × 22 mm (4 CCD)
2 次元位置分解能	0.5 mm (0.6 分角)	27 μm
最大時間分解能	60 μsec(PH モード) 1.95 msec(MPC モード)	16 sec (4 CCD 全画素読み出し時) 16 msec (画像を撮らない時)
検出限界[b]	5 μCrab	5 μCrab
最大観測強度	10, 000 c/s	500 c/s
センサー重量	$\sim$ 4.3 kg	

---

[a] 5.9 keV(^{55}Fe の出す K$_\alpha$ 線のエネルギー) の X 線を当てた時の半値全幅をエネルギー (5.9 keV) で割り算した値

[b] 観測時間を 1 万秒とした時の値

表 1.3　**GIS** と **SIS** の性能の比較

(文献 [2] より)

図 1.3　**ASTRO-D** の検出効率

横軸が入射 X 線のエネルギーで、縦軸がそのエネルギーでの有効面積。
一点破線は **XRT** 4 台分の有効面積で、数値は左側を読む。
実線、破線は **XRT** 2 台分の有効面積にそれぞれ **GIS**、**SIS** の検出効率がかけられたもので、数値は右側を読む。

図 1.4　*ROSAT* 搭載の Wolter I 型ミラー

(文献 [4] より)

図 1.5　X 線反射望遠鏡の有効面積の比較

横軸が入射 X 線のエネルギー (keV) で、縦軸にそのエネルギーでの望遠鏡の有効面積 (cm^2) をとった。*BBXRT* は、 1990 年暮れにスペースシャトルによって行なわれた実験で、 **ASTRO-D** の **XRT** と同型の多重薄膜 X 線望遠鏡が使われた。 (文献 [5] より)

1.2.2 撮像型蛍光比例計数管 (GIS)

GIS の開発は東京大学、東京都立大学、宇宙科学研究所、理化学研究所、京都大学の共同で行なわれた。実際の製作は、ほぼ全般に渡って明星電気 (株) が担当している。

GIS は入射光子 1 つ 1 つについてエネルギー、入射窓での 2 次元的位置、検出時間を測定できる X 線検出器である。センサーは原理的にはガス蛍光比例計数管に分類され、その原型となるものが「てんま」衛星に載って活躍した。基本的な性能は 表 1.3 に書いた通りであるが、エネルギー分解能、位置分解能に関しては **SIS** に及ばない。しかし、 **XRT** の結像性能から要請される位置分解能 (~ 1 mm) は **GIS** で十分達成できており、 **GIS** の方が有利な面も以下のように多くある。

- **XRT** の有効面積が落ちる 5 keV 以上で高い検出効率を持つ (図 1.2)。
- 直径 50 mm の大面積をカバーし、広い視野を確保できる。
- $10,000$ c/s という強い X 線源まで観測できる。
- 61 μsec におよぶ速い時間分解能を持つ。
- 強力なバックグラウンド除去機能を持つ。

技術的な問題としては、 **SIS** のように冷却系や低雑音増幅器を必要としないかわり、薄い Be 入射窓 (10 μm[12])、高電圧 (8 kV)、位置検出型フォトチューブなどを用いることがある。 **GIS** に関しては、次章でさらに詳しく述べる。

1.2.3 X 線 CCD カメラ (SIS)

SIS はマサチューセッツ工科大学 (MIT) のリンカーン研究所が中心となって開発された X 線 CCD 素子を使用し、 MIT のほか、ペンシルバニア州立大学、宇宙科学研究所、大阪大学などが製作に関わっている。 **SIS** は 1 ピクセル 27 μm 四方、解像度 420×422、大きさ 11 mm 四方の CCD チップを 1 つのセンサーにつき 4 つ並べて使用する。

SIS もやはり、入射光子 1 つ 1 つについてエネルギー、 2 次元的位置、検出時間を測定できる。通常 CCD はある時間内にきた光子のエネルギーの総和を測る積分型の素子として使われるが、カウントレートが適正[13]であればこのように光子計数に使うことも出来る。 **SIS** に使われる CCD は、 X 線用に空乏層[14]が 40 μm[15]と厚く作られており、熱雑音のレベルも低く[16]押さえられている。また、読み出し回路の雑音レベルも、 1 次電子数のゆらぎ以下と低い。

SIS の最大の特長は、何といってもエネルギー分解能が良いことである。これは、 Si を X 線の吸収体に用いていることで、 3.65 eV あたり 1 個と **GIS** に比べて 5 倍以上[17]も多くの 1 次電子が発生するためである。また、 X 線の入射位置もピクセル単位で決まるため、位置分解能も 27 μm と十分過ぎるほど良く、像が歪むこともない。

SIS にもいくつか欠点はあり、視野が狭い、明るい X 線源の観測が出来ない、時間分解能が悪い、といったものが主なところである。しかし、これらは前項で述べたように **GIS** で見事に補われている。その他にも、放射線による劣化や、軌道上でのバックグラウンドなどが心配されているが、これらは実際に空に上がってみないと何ともいえない。

---

[12] 「てんま」では 100 μm、「ぎんが」では 63 μm の Be 膜が入射膜として用いられている。

[13] 積分時間内に、 1 ピクセルに 2 つ以上の光子が来なければ良い。

[14] Si(シリコン) で出来ており、ここで X 線は一次電子に変換される。電子を集めるために電場がかけられている。

[15] 可視光用の CCD では数 μm 程度

[16] 動作温度 200K では、ほぼ無視できる。 **SIS** の冷却は放射冷却と電子冷却 (ペルチェ素子を使用) の組み合わせで行なわれている。

[17] **GIS** の吸収体は Xe で、 1 次電子 1 つあたり 21.5 eV のエネルギーが必要になる。

1.3 期待される成果

ASTRO-D 衛星は、星間吸収を受けにくい 3 keV 以上のエネルギー領域で、これまでにない高い感度を持ち、宇宙の深遠探査に威力を発揮するであろう。 X 線天文学が始まって以来の難問である宇宙 X 線背景放射 (CXB) は、遠方の点源の重ね合わせによるものらしいということがわかってきた[18]が、これまでの衛星では感度が十分でなく CXB のせいぜい 30% 程度しか説明しきれていない。 **ASTRO-D** の感度を持ってすればこれまでより 2 桁程度も暗い点源を検出できるため、 CXB のかなりの部分を点源に分解することが可能であろう (図 1.6)。

また、 **ASTRO-D** は鉄輝線 (6.4 $\sim$ 6.7 keV) を含むエネルギー領域で撮像観測が行なえるという強力な武器がある。銀河や銀河団の間に広がる高温ガスは鉄輝線を指標にして明確に識別することができ、その高温ガスの広がりと温度を知ることによって銀河、銀河団の重力質量が他の方法よりずっと精度良く評価できる。これを z[19] が小さい (近い) ところから、大きい (遠い) ところへと見ていくことによって銀河、銀河団の化学的進化[20]、さらには宇宙の大規模構造の進化も調べることが出来るだろう。

スペクトル観測においても **ASTRO-D** は広いエネルギー帯域と高いエネルギー分解能をもち、高密度星やブラックホール候補、活動銀河核の輻射機構の解明など、「ぎんが」が得意であった分野でも大いに活躍すると思われる。

解説

観測した明るさが S 以上の天体の数 $N_{>S}$ を両対数でプロットしたものを $\log N - \log S$ 関係と呼ぶ。天体の光度分布がいたるところで同じで、天体が空間に一様に分布していれば $S \propto R^{-1/2}$(観測可能な最大距離)、 $N_{>S} \propto R^3$ であるので、 $N_{>S} \propto S^{-3/2}$ となる (左図の破線)。一方、上で選んだ天体から発せられる X 線の全フラックス $F_{>S}$ は

$$F_{>S} = \int_S^\infty S \frac{dN_{>S}}{dS} dS \propto S^{-1/2}$$

と書けるが、 X 線の場合、この値は宇宙 X 線背景放射で与えられる上限値を越えることはできない。その線が左図の一点破線で、 S^{-1} の直線となる。

図 1.6 2–10 keV のエネルギー領域での $\log N - \log S$ 関係

実線で書かれた領域が「ぎんが」で既知の X 線源のない空を見た時の揺らぎから制限をつけられた部分。 *EINSTEIN* 、 *HEAO-1* で観測された $\log N - \log S$ 関係も書かれている。一点破線は宇宙 X 線背景放射の全輻射量を説明できるようになる上限値で、 **ASTRO-D** の検出限界は「ぎんが」で得られた $\log N - \log S$ 関係をまっすぐ伸ばした時にその上限値にぶつかるところに位置している。 文献 [5] より

---

[18] *COBE* (1990 年打ち上げ) の観測により 3K 背景輻射がスニアエフ · ゼルドビッチ効果による黒体輻射からのスペクトルのずれを示していないことがわかり、 CXB が宇宙全体に広がった高温ガスから発生しているという考えは修正を余儀なくされた。

[19] 赤方偏移のパラメータ

[20] 銀河を構成する元素比や、銀河内での元素分布の変移のこと

第 2 章

GIS のしくみ

2.1 システム構成

GIS は GIS-S2、 GIS-S3、 GIS-E の 3 つの部分からなる[1]。 GIS-S2 と GIS-S3 は X 線を検出するセンサー部で、入射 X 線を検出してアナログ信号に変換する。 GIS-E は電子回路部であり、センサー部からの信号を処理し、デジタル信号として衛星の DP へ送り出すほか、センサ–部に付随する高圧電源やプリアンプを制御する。表 2.1に **GIS** のシステム構成と、担当メーカーの一覧を示す。センサ部の組み上げ、評価試験などは、明星電気と大学側研究者が協力して行なってきた。

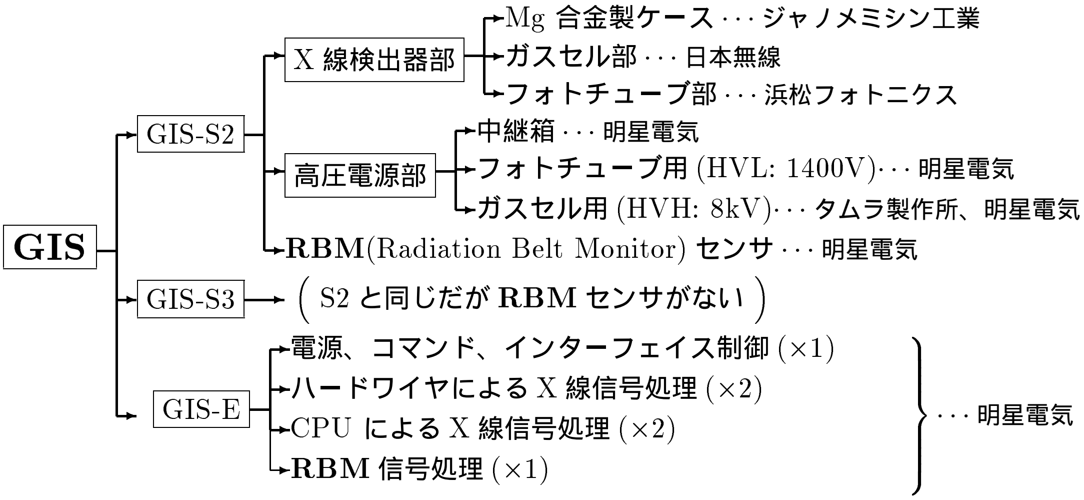


表 2.1 **GIS のシステム構成**

図 2.1 に GIS-S2 の外観図をを示す。実物は全体が黒く塗装されている。 **ASTRO-D** 衛星上では、 **GIS** は 図 2.2 のように取り付けられる。 GIS-S2 と S3 で X 軸、 Y 軸の方向が異なるので注意。 **GIS** センサは、そのガスセル上部の Be 入射膜が **XRT** の焦点面に来るように取り付けられる。 **XRT** の焦点面は **GIS** のガスセル部、入射窓の Be 膜に位置するよう調整される。また、 GIS-S2、 S3 とも視野の端に ~ 0.45 c/s 程度の較正用 ^{55}Fe アイソトープが付けられている。

2.2 GIS の構造と原理

GIS-S3 の X 線検出部の断面図は図 2.3 のようになっている。より詳しい構造は、文献 [3] を参照して欲しい。 X 線検出の中心的な役割を果たすのは、 Be 膜 Xe ガスセル (Kovar D と書いてあると

---

[1] S0、 S1 は **SIS** をさす

図 2.1　GIS-S2 外観図

図 2.1　GIS-S2 外観図

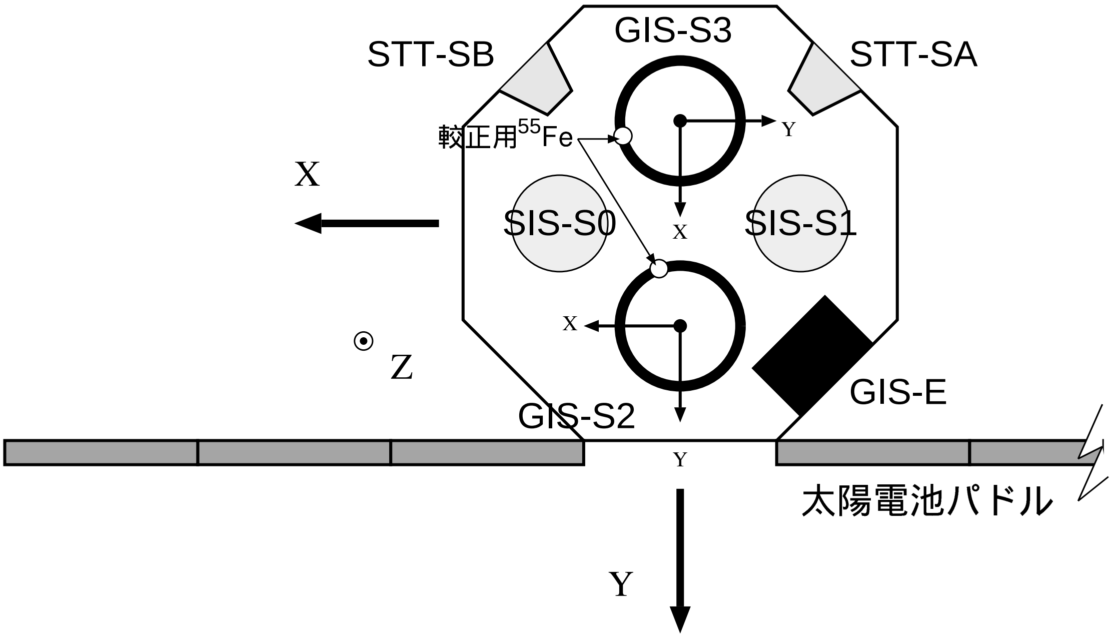


図 2.2　**ASTRO-D 衛星上での GIS の配置**

ASTRO-D 衛星を **XRT** のある位置からのぞき込んだところ。大きい矢印の組は衛星の座標系、小さい矢印の組は GIS-S2、S3 に固有な座標系を示している。STT はスタートラッカーのことで、衛星の姿勢を決定するために使われる。

ころ) と位置検出型フォトチューブ (ZS942 と書いてあるところ) で、それぞれ X 線光子を紫外光に変換する役割と、その紫外光を検出して電気パルスに変換する役割を持つ。

X 線検出の課程は、摸式的に図 2.4 のように書ける。検出課程を順に説明すると、X 線はまず、プラズマ防御膜[2]、10 μm の厚さの Be(ベリリウム) 入射窓[3]を通してガスセルに入射する。ガスセルには Xe(96%) と He(4%) の混合気体[4]が封入されており、X 線はガスに光電吸収されて平均 21.5 eV 当たりに 1 個の 1 次電子が作られる。ガスセルはドリフト領域と呼ばれる 1 kV/ cm 程度の弱い電場がかけられている部分と、発光領域と呼ばれる 4 kV/ cm 程度の強い電場がかけられている部分に分けられており、ドリフト領域で X 線が吸収された場合、発生した 1 次電子群は電子数を一定に保ちつつ電場に引かれて発光領域に達する。発光領域に達した電子は、今度は強い電場で加速されて Xe 原子[5]を衝突励起し、ここで励起された Xe 原子は、波長 ~ 170 nm の蛍光紫外線を出す。電子群は 2 ~ 3 μsec かかって発光領域を通過するが、その間に繰り返し蛍光紫外線光子を生成し、発光領域に紫外線の「発光柱」を作る。1 個の紫外線光子を作るには約 10 eV 必要なので、発光領域の電位差が 7 kV なら 1 個の電子が約 700 個の紫外線光子を作る。従って、6 keV の X 線が入射すると ~ 260 個の電子ができ、そこから合計 ~ 1.8×10^5 個の紫外線光子が発生する。**GIS** のエネルギー分解能

---

[2] プラズマの侵入を防ぐためのアルミ蒸着マイラ膜 (0.5 μm + Al300 μm)。ピッチ 2.0 mm のステンレス製メッシュに張り付けられ、フードの基部に取り付けられる。打ち上げ時の音響共鳴で膜が敗れるのを防ぐため、フードの側面には 10 mmϕ の穴を 4 個あけ、音圧を逃がす工夫がされている。

[3] Be 膜をサポートするために、5 mm ピッチで 0.1 mm 厚 3.5 mm 高のモリブデン製の井桁と、1.2 mm ピッチで透過率 87% のステンレス製メッシュが使われている。なお、Be 膜はヤマハの開発によるもの。

[4] 0°C で 1.2 気圧のガスが封入されている。He を混ぜるのは、まず第一にガスセルからのガス洩れを調べやすくするためであるが、1 次電子の拡散を抑えて位置分解能を向上させる効果や、RT の切れ味を鋭くする効果もある。詳しくは文献 [4]。

[5] 正しくは短寿命の分子

図 2.3　GIS-S3X 線検出部断面図

図 2.3　GIS-S3X 線検出部断面図

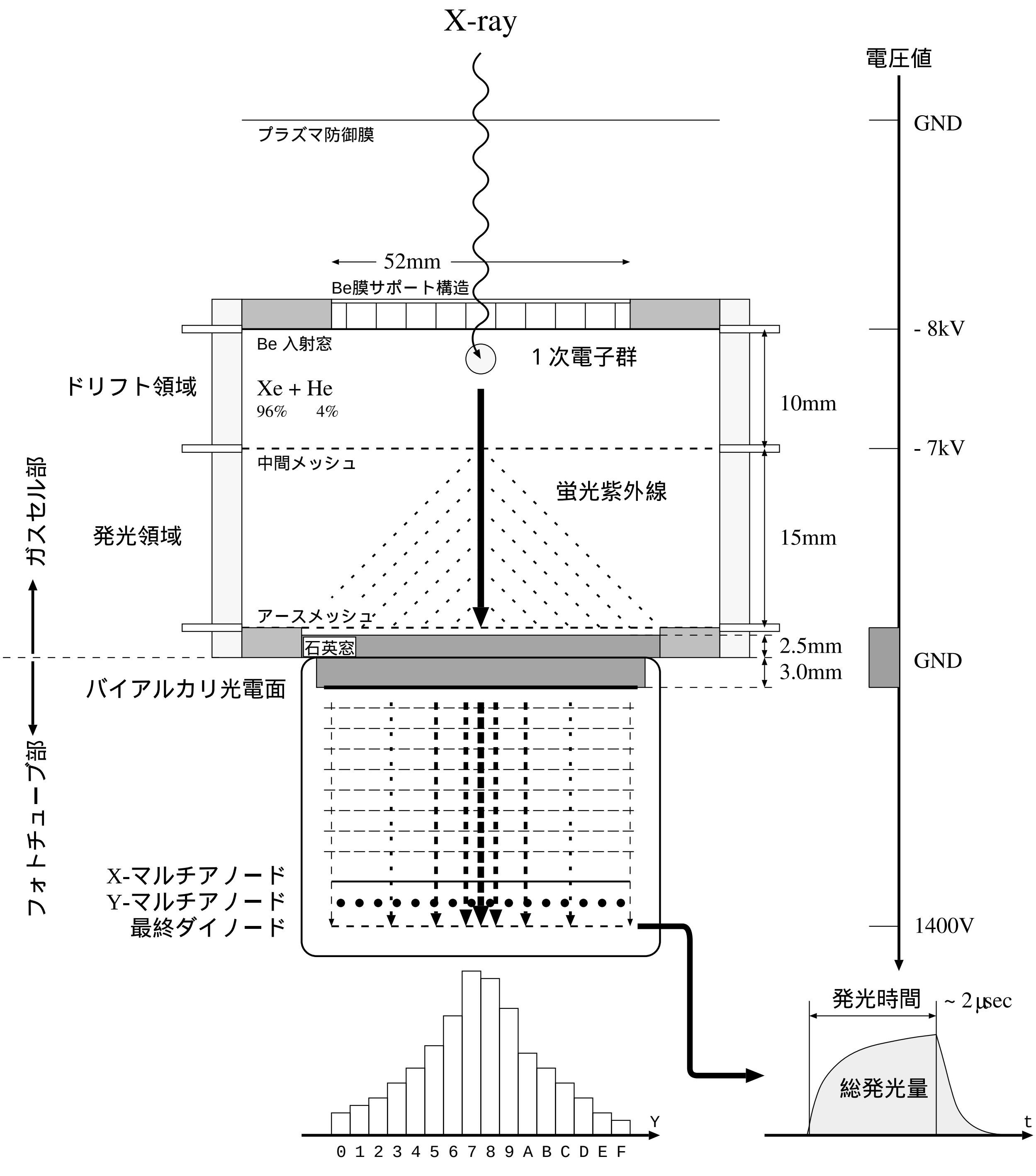
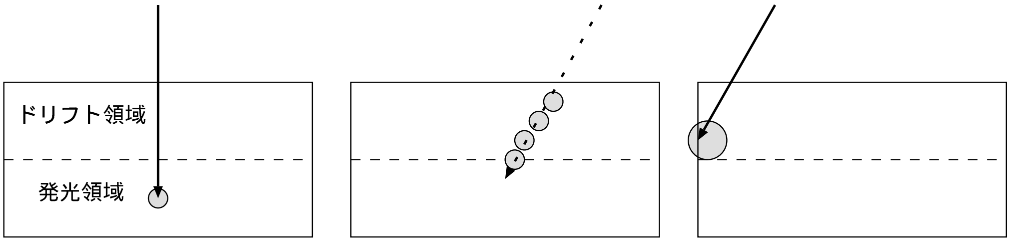


図 2.4　**GIS** の X 線検出課程の摸式図

電圧値はかけられる最大の値を書いたもので、通常はこれより低めの電圧を使用する。



(a) (b) (c)

図 2.5　**GIS** でバックグラウンドとして考えられるイベントの例 (詳しくは本文)

がガスカウンターとしては究極に近いほどの性能を示す秘密は、このように電子なだれを利用した増幅課程を持たない (フォトチューブ内は除く) ところにある。

さて、ガスセルが作る紫外線の「発光柱」は、ガスセルの下におかれた位置検出型フォトチューブによって検出される。ガスセルとフォトチューブは石英窓同士[6]をつき合わした格好で結合されており、真空中では紫外線の約 60% がフォトチューブの光電面まで達する。このフォトチューブはダイノードが 10 枚の開口率 50% の平板メッシュでできており、光電面からでた電子は横方向にあまり広がらずに増幅される。アノードは 3.75 mm 間隔で 16 本のワイヤを張ったマルチアノード方式のものが 2 層あり、一方の 16 本の出力分布から光の X 方向の位置 (XP: X Position) が、他方の 16 本から Y 方向の位置 (YP: Y Position) がわかる。XP、YP は GIS-E の持つ CPU によって分布の重心計算[7]を行なうことで決定されるが、設定によってはその際にアノード出力分布の分散[8](SP: SPread) も計算され、バックグラウンド除去に使われる。また、エネルギー情報は最終ダイノード信号から得ることができる。ダイノードのパルス波形は図 2.4 に書いたような波形をしており、パルスの総積分量が総発光量すなわち X 線のエネルギーに、パルスの継続時間が発光時間に対応する。実際にはフォトチューブからの信号は GIS-S の下部に配置されたプリアンプで積分され、総発光量は波高 (PH: Pulse Height) として、継続時間は立ち上がり時間 (RT: Rise Time) として計測される。次項で見るように、RT はバックグラウンドの除去に大きく威力を発揮する。

上に述べた PH、RT、XP、YP、SP の他に、GIS-E によってパルスが発生した時間 (TIM: TIMing) も測定される。TIM には X 線が作った 1 次電子がガスセル内でドリフトする時間、約 6 μsec の不定性を持つことになるが、TIM の最大時間分解能 60 μsec からすれば問題にならない。

2.3　GIS バックグラウンド除去機能

前項に書いたように **GIS** は PH、RT、XP、YP、SP、TIM という 6 つのパラメータを決定する。このうち、PH と RT に関してはハードワイヤで、SP に関しては CPU を用いて、通常の X 線イベントとして認められる窓領域を設定することによって、バックグラウンドの 90% 以上を除去することができる。この機構 (ディスクリ機構) に関しては、4、5章で詳しく解説する。

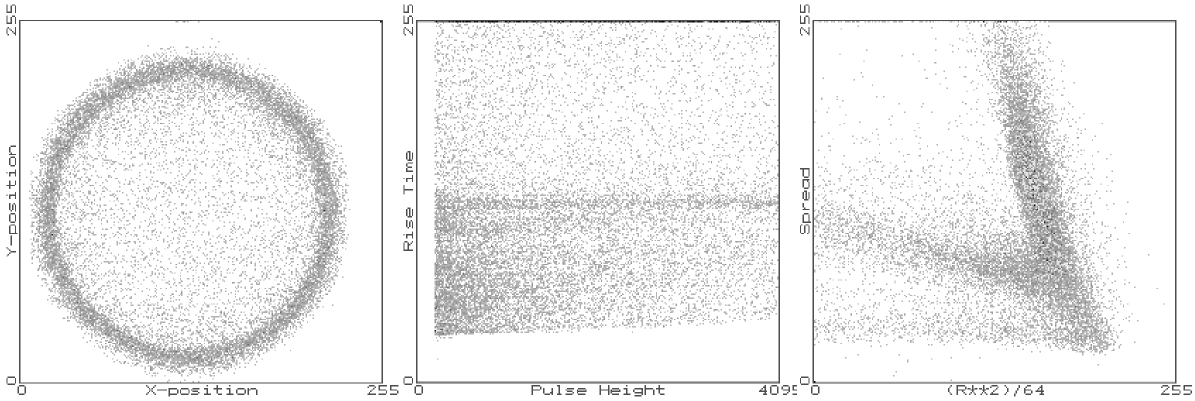
GIS においてバックグラウンドとして除去できるイベントには、図 2.5のようなものがある。図の四角い箱の部分が **GIS** のガスセルを摸式的に示したもので、点線の上側がドリフト領域、下側が発光領域になる。

---

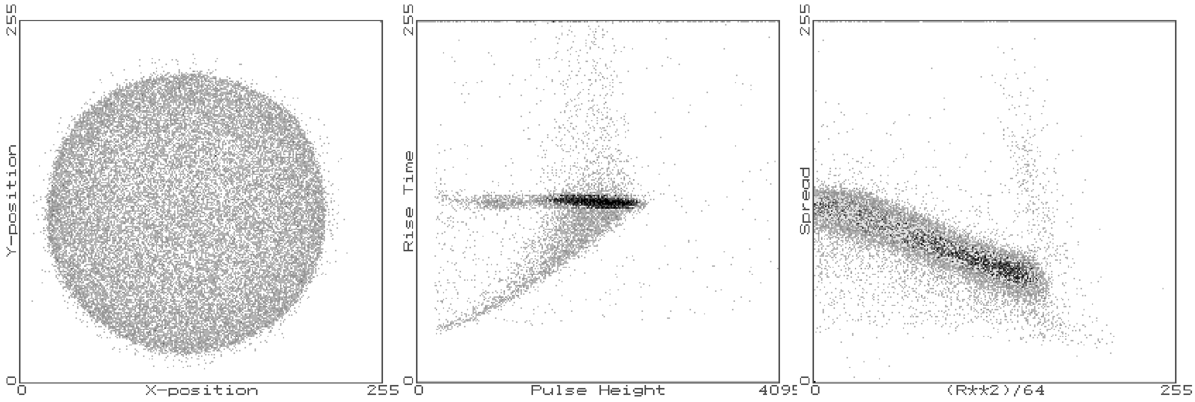
[6] 間に 0.05 mm 厚のカプトン製のリング 2 枚はさまれている。

[7] 二乗方式、FLF 方式の 2 通りのやり方がある。詳しくは 5を参照。

[8] 光の広がり、すなわち「発光柱」の太さに対応する。



(a) BGD の XP と YP の相関　(b) BGD の PH と RT の相関　(c) BGD の R^2 と SP の相関



(d)X 線の XP と YP の相関　(e)X 線の PH と RT の相関　(f)X 線の R^2 と SP の相関

図 2.6　バックグラウンドと X 線イベントの比較

(a)、(b)、(c) がルームバックグラウンドのデータ、(d)、(e)、(f) が X 線を検出器の全面に当てた時のデータをプロットしたもの。X 線は X 線ジェネレータから出る 1 次 X 線を 0.1 mm 厚の Cu のフィルタを通すことによって作った。どちらもガスセルに Kovar B、フォトチューブに ZS941、データ取得回路に三原実験回路を使用している。

(a) は突っ込みイベントと呼ばれるもので、X 線がドリフト領域で吸収されずに発光領域で吸収された場合に対応する。この場合、発光領域を通過する長さが短いため総発光量が少なくなり、X 線のエネルギーが少なく見積もられてしまう。特に高いエネルギーの X 線では Xe の阻止能が落ちるためこのようなイベントが多くなる。このようなイベントは RT が短くなることを利用して除去できる。宇宙線が発光領域を走った時などもこれに分類される。

(b) は高エネルギーの荷電粒子などが入射した時や、γ 線がガスセル内で 2 回以上コンプトン効果を起こした時のイベントで、粒子が走ったパスに沿って 1 次電子が作られる。多くは PH の上限値 (UD) を越えることで除去されるが、それで除去されなかったものも RT が長くなることを使えば除去できる。また、粒子がガスセルと水平に走った時は、SP が大きくなることで除去できる。

(c) は壁際イベントと呼ばれるもので、高エネルギー荷電粒子や γ 線などがガスセルの壁にぶつかって 1 次電子を発生させた場合に対応する。**GIS** のガスセルは入射窓に比べて大きめに[9]作られているので、中心からの距離が明らかに遠いものを除けばよい。視野内にしみ出てきたイベントも、SP が大きくなることを使えば除去できる。

---

[9] 入射窓は 52 mm、ガスセルの内径は 92 mm となっている。

表 2.2　観測モードでのフレームフォーマット

1 フレームを 16 ワードずつ 8 行に分けて書いてある。
網がかかっているところは **GIS** に関係するデータがでる位置。
上に書いてある時間は、 bit High の時の値である。
FI: Frame Indicator、 AHK: Analog House Keeping、 STAUTS: On/Off Status、 GIS-BCOS: GIS Block Command OS Monitor

RT と PH の関係や、 SP と 半径[10]の 2 乗の関係を 2 次元にプロットすると、バックグラウンドの振舞いが良くわかる。図 2.6 は、バックグラウンドのデータと X 線のデータに対してそれらをプロットしたものである。 (b) と (e) を比べると、バックグラウンドの RT が全面に広がっているのに対し、 X 線のデータは特定の RT の回りに集中している[11]のがわかる。また、 (a) と (d) を比べると、バックグラウンドが周辺に多い[12]のが見てとれる (壁際イベント) が、 (c) と (e) より SP でディスクリをかけることによってそのかなりの部分を除去できることがわかる。

2.4　GIS のデータモードとフレームフォーマット

ASTRO-D においては、衛星からのデータはパルス符合変調 (PCM) されたビット列によって送られてくる。このビット列は

1 word = 8 bits
1 frame = 128 words = 1,024 bits
1 subframe = 64 frames = 8,192 words = 65,536 bits

のような階層構造を持ち、所定の形式 (フレームフォーマット) に従って配列されている。表 2.2 に **GIS** のフレームフォーマットを示す。また、フレームデータの転送速度は bit-rate High、 Medium、 Low の 3 種類があり、それぞれ 2 秒 / フレーム、 8 秒 / フレーム、 64 秒 / フレームとなっている。

GIS は PH、 PCAL、 MPC の 3 種類のデータ出力モードを持っており、 **GIS** のメインデータ部と `GIS MON` の部分に出力されるデータは、今どのモードにあるかによって異なる。

---

[10] XP、 YP を使って計算した中心からの距離のこと。

[11] メインピークの下に伸びるのは突っ込みイベント、上に伸びるのは 1 次電子ができる課程で Xe の L 蛍光線がエスケープしたものが再びガスセル内で吸収されたイベントである。

[12] **GIS** の位置決定の直線性は、周辺部で内側に向いて歪むので、その効果も含まれている。

←—— 32 bit ——→

センサー番号	波高	X 位置	Y 位置	立ち上がり時間	光の広がり	到着時間
ID	PH	XP	YP	RT	SP	TIM

名称	ビット数	内容
ID	$\underline{1}$	検出したセンサー0 ··· GIS2、1··· GIS3
PH	8,$\underline{10}$	パルスの波高 (X 線のエネルギー)
XP	2,4,6,$\underline{8}$	X 方向の入射位置
YP	2,4,6,$\underline{8}$	Y 方向の入射位置
RT	0,$\underline{5}$,6,8	パルスの立ち上がり時間
SP	$\underline{0}$,8	光の広がり
TIM	$\underline{0}$∼10	2 フレームでひとまわりするカウンタの値

表 2.3　PH モード時のメインデータの内容とビット配分

下線の付いているビット数が初期値。
RT のビット数に 8 以外の値を指定した時は、RT LD(Lower Discri) の値からのオフセットが出力される。設定によっては、その値のさらに 2,4,8 分の 1 の値を出力することもできる。
TIM のビット数には、余ったビット数が割り振られ、常に MSB 側から出力される。

ビットレート	観測可能な最大強度 (GIS-2,3 合計)	時間分解能	
		タイミングビット数	
		0bit	10 bit
H	256 c/s	62.5 msec	61 μsec
M	32 c/s	500 msec	488 μsec
L	8 c/s	2000 msec	1953 μsec

表 2.4　PH モードでのテレメトリ制限による最大観測強度と時間分解能

PH(Pulse Height) モード

GIS の通常観測モード。1 イベントごとに CPU 処理された PH、RT、XP、YP、SP、TIM からなる 32bit のデータがメインデータ部に出力される。GIS-2、3 合わせて 最大 8 イベント / フレームのデータを出力できる。詳しいビット配分、テレメトリ制限[13]で決まる最大観測強度は、それぞれ、表 2.3、表 2.4 のようになっている。また、`GIS MON` の部分には信号処理の各段階におけるカウント数が出力されている。

PCAL(Position Calibration) モード

1 イベントごとに時間以外の全ての情報 (PH、RT、全アノードの波高、XP、YP、SP) を 1 フレームで出力するモードである。アノードの波高がメインデータの位置に、PH、RT、XP、YP、SP の値が `GIS MON` の位置に出力される。出力されたフレームが偶数フレーム[14]なら GIS-2、奇数フレームなら GIS-3 のデータである。PCAL モードでは偶数フレームの間は GIS-2 が、奇数フ

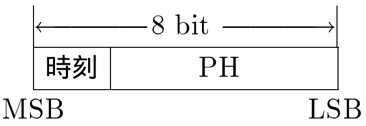
---

[13] フレームフォーマットと転送速度によって、伝達できる情報量が制限されること。

[14] フレームの番号は、`FI` の位置に出力されている。

ビットレート	観測可能な最大強度	時間分解能
H	16 c/s	62.5 msec
M	4 c/s	500 msec
L	1 c/s	2000 msec

表 2.5　PCAL モードでのテレメトリ制限による最大観測強度と時間分解能



(注) 時刻ビットは 16 フレームを等分割してつける。時刻ビット数はデータの上位につき、0、2、4、8 ビットに替えられる。初期値は、時刻ビットが 2bit、PH ビットが 6bit である。

表 2.6　MPC モード時に **GIS** から DP に渡されるデータ

レームの間は GIS-3 が完全に不感時間となってしまう。表 2.5 に PCAL モードでのテレメータで決まる最大観測強度を示す。

MPC(Multi-channel Pulse Count) モード

MPC モードは、PH スペクトルを一定時間のあいだ集積してから出力するモードである。位置情報は得られないが、CPU の処理を必要とせず、強いソースをテレメトリ制限を受けずに観測できるという利点をもつ。

MPC モードでは 1 イベントごとに PH と 時刻を合成した 8bit(0 ～ 255) の情報 (表 2.6) が **GIS** から DP[15]に送られる。DP は GIS-2,3 用に各々 256 個の 8bit カウンタを持っていて、16 フレームのあいだ集積をする。頭に時刻ビットをつけると DP 側の処理を全く変更することなしに時間別にスペクトルが得られる。時刻ビットが 0 の時には、GIS-2,3 各々 256 チャンネルのスペクトルが 16 フレームごとに得られ、時刻ビットが 2 ビットの時には 64 チャンネルのスペクトルが 4 フレームごとに得られる (図 2.7)。積分されたスペクトルは **GIS** のメインデータ部を使って出力される。`GIS MON` の位置に出力されるデータは PH モードの時と同じである。表 2.7に、テレメトリ制限による最大観測強度を示す。

---

[15] Data Processor の略で、衛星の各機器からデータをもらい、それをフレームフォーマットに従って順番に並べてテレメータへ送る働きをする。

ビット レート	観測可能な 最大強度 (センサー 1 台あたり)	時間分解能			
		時刻ビット 0	2	4	8
		PH ビット 8	6	4	0
H	512 c/s/ch	0.5 s	0.125 s	31.25 ms	1.95 ms
M	64 c/s/ch	4.0 s	0.250 s	250 ms	15.6 ms
L	16 c/s/ch	16.0 s	4.000 s	1000 ms	62.5 ms

表 2.7　MPC モードでのテレメトリ制限による最大観測強度と時間分解能

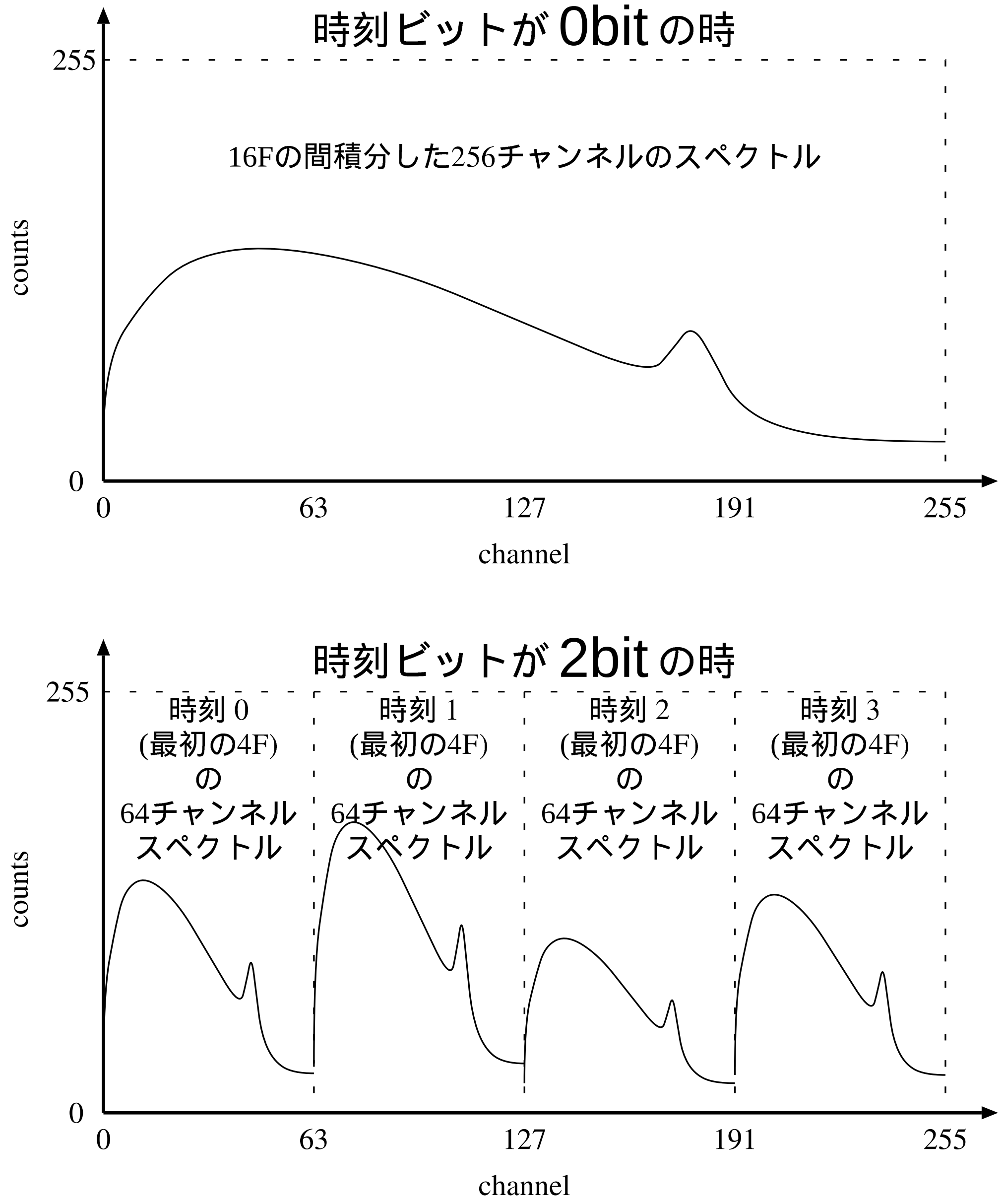


図 2.7　MPC モードでの時刻ビットと PH ビットの概念

第 3 章

GIS 用 QL ソフトの開発

3.1 QL ソフトとは

QL とは、Quick Look (クイックルック) の略であり、その名の通り、衛星から送られてくる情報をリアルタイムで処理し、画面に表示を行なうソフトの総称である。これに似た言葉として、DL(Delay Look, ディレイルック: ハードディスクなどに一度保存されたデータをもとに、衛星の状態を画面上で再現するもの) というのもあるが、内部での処理は基本的に同じである。**ASTRO-D** の QL ソフトは、衛星全体の基本的な部分は富士通 (株) が担当し、それ以外の細かいところは各サブシステムごとに開発を行なっている。**GIS** に関しては、三原 (現在、理化学研究所に所属)、石崎が中心となって QL ソフトの製作を行なってきた。

3.2 設計思想

QL ソフトの役割は、第一に **GIS** が正常に動作しているかどうかを確認することにある。きちんとしたデータ解析にはむかないが、常に、しかも真っ先に人の目に触れるところであり、それだけに見やすく、操作性が良いものでなければいけない。また、打ち上げ前の試験、打ち上げ後の衛星の運用などの重要な場面でも使われるものなので、あらゆるモードに対応する柔軟さを持ち、信頼性のあるものであることも必要である。

具体的には、QL ソフトに望まれる機能は、次のようなものが挙げられる。

- 衛星から送られてくるデータ (最大 8KB/ 秒) に追従できるだけの高速処理。
- **GIS**、**RBM**[1] の全状態を一覧性よく表示する。
- スペクトルやイメージ、相関図がいつでも見られ、位置やカウント数が読みとれる。
- スペクトル等 QL ソフトで処理済みのデータをファイルに記録し、詳しく検討できる。
- 現在読み込んでいるフレームデータをなまの形で保存でき、それを用いた DL を行なえる。
- QL ソフト側で、簡単なデータ選別が行なえる。
- コマンドが自在に打てる。
- 表示の停止 / 解除が行なえる。
- **GIS** のステータスの保存 / 読み込みが行なえる。
- さまざまな実験環境 (→3.3 P.20) で使用できる。
- ハードウェアの開発と並行して作られるため、変更が容易に行なえる。

また QL ソフトを動かすマシンは、開発環境が整っていること、チェックボックス (→3.3 P.20)

---

[1] Radiation Belt Monitor

と繋げられること、将来的にも使用できること、などを考えて、PC-9801[2]、および X-Window[3]の動作する UNIX[4]ワークステーションとなった。

プログラミング言語は、パソコンとワークステーションの両方で動作し、高速な実行ファイルが作れる、ビット演算などの細かい処理も簡単にできるもの、ということで C 言語を採用した。ただし、パソコンの方でハードウェアに近い部分や、画面表示などの高速処理が要求される部分に、一部アセンブラを用いている。

プログラミングにおいては、ソースコードやデータなど、パソコンとワークステーションの両方で共通に使える部分はできるだけ共有し、ソフトウェア財産の有効利用を図った。また、フレームデータの取り込みルーチンやコマンドの送信ルーチンをモジュール化し、そこをコンパイルし直すだけで異なった実験環境に対応できるようにした。さらに、ブロックテーブル画面など開発中頻繁に変更される部分は、外部のテキストファイルから表示フォーマットを読み込むようにし、対応を容易にするとともに **GIS** 以外の QL にも使用できる汎用性を持たせた。

3.3 QL ソフトが必要となる実験環境

QL ソフトは、**GIS** が衛星に載った状態だけではなく、開発中の **GIS** 単体でのチェックにも用いられる。当然、それぞれの場合でフレームデータの取り込み方法や、**GIS** の接続方法は異なっている。この節では、QL ソフトがどのような実験環境で動かすことができるのかを、各場合に分けて説明する。

なお、ハード上の制約から、ワークステーション用の QL ソフトが使用できるのは 3.3.1の場合だけである。パソコン用のものは、全ての場合で使用できる。もっとも、パソコン用の QL ソフトで保存した生のフレームデータを用いて、ワークステーション上で DL を行なうことは可能である。

3.3.1 衛星上に GIS が組み込まれている場合

衛星試験や、衛星が軌道上に打ち上げられた後などが、これに対応する。この場合、フレームデータは衛星からのテレメトリ[5]によって送られてくる。**GIS** が出力した信号からフレームフォーマットへの変換は、衛星上の DP[6]が行なっている。衛星からのテレメトリデータは、アンテナで受信された後、復調装置を通って、まず A-80 というミニコンピュータに入る。A-80 が取り込んだテレメトリデータはディスクに書き込まれ、それが NFS [7]によって QL ソフトを動かすコンピュータに配られるしくみになっている。QL ソフトは、このファイルを順次読み込んで、画面の表示を行なうことになる。A-80 上にあるテレメトリファイルの形式は、付録 A を参照のこと。この場合、コマンドは衛星管制装置 (MS[8]) から打たれることになっており、QL ソフト側でコマンドを打つことはできない。図 3.1 はこの様子を示した概略図である。パソコン用の QL ソフトを使うには、NFS を実現するためにイーサボードおよび NFS 用のソフトが必要である。現在は、アライドテレシス社のものを使用している。

---

[2] (株)NEC 製のパーソナルコンピュータ

[3] MIT(マサチューセッツ工科大) の開発した代表的なマルチウィンドウ環境

[4] AT&T 社の Bell 研究所で開発されたオペレーティングシステム

[5] 衛星送信機からアンテナを介して地上と通信し、情報を伝達する作業のこと

[6] Data Processor の略で、衛星の各機器からデータをもらい、それをフレームフォーマットに従って順番に並べてテレメータへ送る働きをする。

[7] Network File System の略で、他のマシンのディスクにあるファイルをネットワークを通じて自由に読み書きできるようにする機構のこと

[8] ミニコンピュータ MS-175 のこと

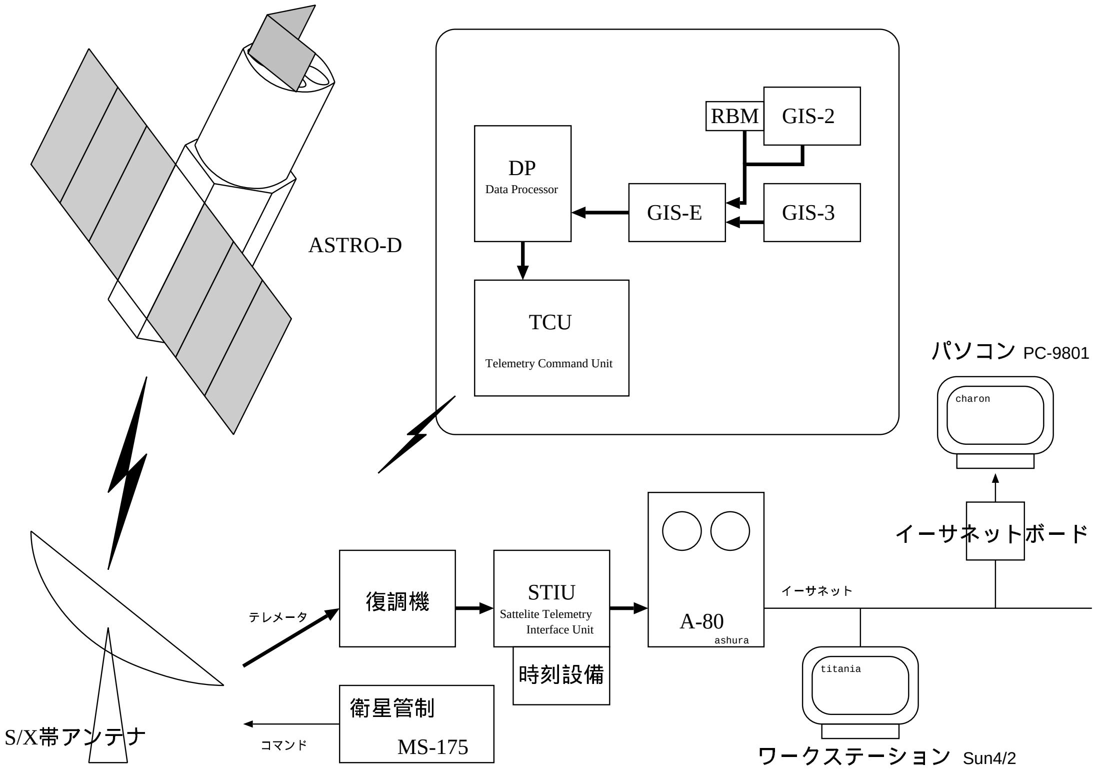


図 3.1　衛星テレメータ QL システムの概要

3.3.2　チェックボックスを使用する場合

GIS の開発にもっぱら使われた QL ソフトで、 **GIS** 装置が衛星に載らず、地上に単体でおかれた場合に用いる。特に GIS-E が関わる部分の開発を行なう際、大いに活躍した。

チェックボックス (spacecraft simulator) とは、衛星のさまざまな共通機器のうち **GIS** に関係するものの機能をシミュレートするための装置のことで、 **GIS** をチェックボックスに接続することにより、 **GIS** が衛星に組み込まれた時とほぼ同じ状況を作り出すことができる。具体的には、チェックボックスは、 **GIS** に電源を供給する機能 (衛星の電源系に相当)、 **GIS** にテレメトリのクロックを供給し、また GIS-E からのデジタルデータを一定のフレームフォーマットに編集して外部へと送り出す機能 (データ処理系に相当)、外部からコマンドを受けてそれを GIS-E へ伝達する機能 (コマンド系に相当)、温度やモニタ電圧などのアナログ信号を A/D 変換してフレームフォーマットに組み込む機能 (House Keeping 系に相当) などを備えている。チェックボックスの前面のパネルには、コマンドを打つためのスイッチや **GIS** の動作状態をモニタするための LED が設けられており、パソコンを繋がなくても一応 **GIS** を動かすことはできる。だが、 **GIS** の出力するデータをきちんと見ようとすれば、やはり QL ソフトが不可欠である。パソコンからチェックボックスを見ることは、おおざっぱにいって上に述べた A-80 を見ることと同じと言えるが、チェックボックスはコマンドを打ったり、フレームデータの任意の部分を D/A 変換してペンレコーダに出力したりできるなど、 A-80 経由ではできない機能も持っている。チェックボックス用の QL ソフトはそれらの機能にも対応している。

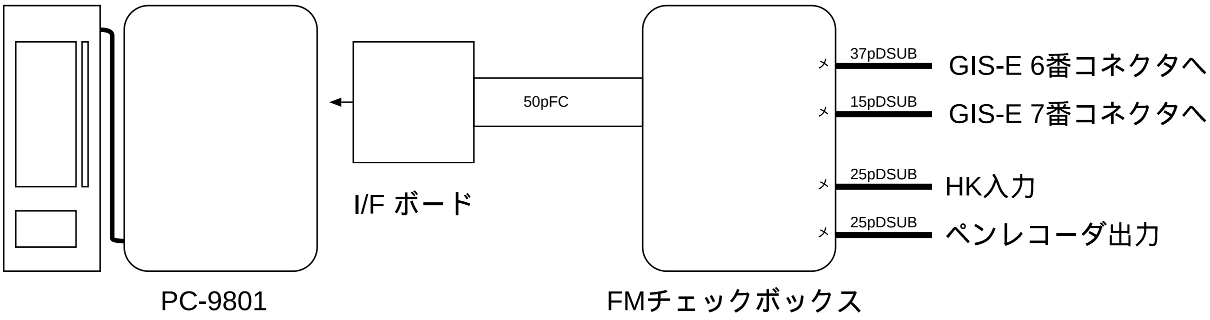


図 3.2　FM チェックボックスの配線例

1	HVL2-V	5	HVH2-I	9	HVH3-V	14	GIS-S2	18	GIS-S3
2	HVL2-V RTN	6	HVH2-I RTN	10	HVH3-V RTN	15	GIS-S2 RTN	19	GIS-S3 RTN
3	HVH2-V	7	HVL3-V	11	HVH3-I	16	RBM		
4	HVH2-V RTN	8	HVL3-V RTN	12	HVH3-I RTN	17	RBM RTN		

表 3.1　FM チェックボックスの HK 入力コネクタのピン配置

チェックボックスには FM[9]チェックボックスと呼ばれるものと、PM[10]チェックボックスと呼ばれるものの 2 種類があり、現在は両方で QL ソフトを使うことができる。PM チェックボックスはもともと PM の **GIS** 用に設計、製作されたもので、PFM[11]、FM の **GIS** には使われる予定はなく、QL ソフトの方も対応されていなかった。ところが、チェックボックスが足りなくなった都合で、FM GIS-S の熱真空試験に PM チェックボックスを使用することになり、QL ソフトの方もさかのぼって PM チェックボックスに対応することになった。PM チェックボックスの基本的な機能は FM チェックボックスと変わらないが、HK 入力やペンレコーダ出力の機能を持っていない、パネル上の LED の表示が FM の仕様にしたがっていない、などの違いがある。また、QL ソフトのほうもいくつか未対応の部分が残っている。

PM チェックボックスの開発は、三原と明星電気が共同で行ない、文献 [4] 三原の修士論文 (1990) に回路の構成やチェックボックスからのデータの取り込み方などが書かれている。FM チェックボックスは、PM チェックボックスの開発の経験に基づいて明星電気が設計、製作を行なった。チェックボックスとパソコンのインターフェイスには、共有メモリボード (設計: 三原、製作: 明星電気) を用い、パソコンの拡張 ROM 領域にフレームデータを出現させることでフレームデータの受け渡しを行なっている。共有するフレームデータは、FM チェックボックスで 1 サブフレーム分 (ビット High で 2 秒)、PM チェックボックスで 1 フレーム分 (同 1/32 秒) となっており、PM チェックボックス用の QL ソフトはデータのとりこぼしを防ぐためにタイマ割り込みを使用している。

図 3.2 に FM チェックボックスを使用する時の配線例を、表 3.1 に FM チェックボックスの HK 入力コネクタのピン配置を示す。パソコンと FM チェックボックスとのインターフェイス詳細は、付録 B を参照のこと。

---

[9] Flight Model の略

[10] Proto Model の略

[11] Pre Flight Model の略

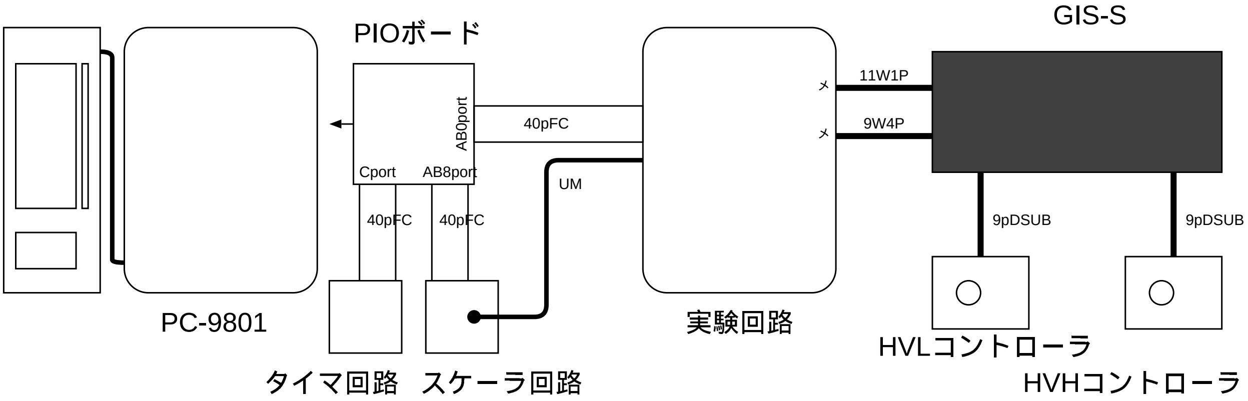


図 3.3　実験回路の配線例

3.3.3　実験回路を使用する場合

これも **GIS** の開発中大いに活躍した QL ソフトで、同じく **GIS** 装置が衛星に載らず、地上に単体でおかれた場合に用いるが、こちらは GIS-S の特性だけを見たい時に使われた。

実験回路とは、 GIS-E の PSA[12]基板と同等な回路基板のみを使用して、センサー (GIS-S) からデータを取得できるようにした回路系のことで、センサーの較正実験はほとんどすべてこれを用いて行なわれている。実験回路は HV の制御なども外づけの回路を用いる必要があり、受け付けるコマンドも、 Fine Gain の設定や、 LD level の設定などに限られている。しかし、 GIS-E の開発とセンサーの開発は並行して進められるため、長期に渡るセンサーの試験や較正の際、 GIS-E を占有することは難しく、できたとしてもフライト品である GIS-E を酷使することは望ましくない。また、 GIS-E はテレメトリによってデータの取得速度が制限されるため、センサーの較正実験にはあまり向いていないという事情もある。そこでセンサーの開発、および性能評価のため、 GIS-E の一部だけを抜き出した回路装置を作り、実験回路と名付けられた。具体的には、実験回路は、センサーに電源を供給する機能、アナログ信号を処理し A/D 変換しデジタル信号に直す機能を持っている。この場合、パソコンは GIS-E の中でのデジタル処理 (A/D 変換されたデータを取り込み、位置を計算するなどの CPU 処理)、衛星のデータ処理系 (あるいはチェックボックス) の肩代り、そして QL という 3 つの機能を合わせ持つことになる。

実験回路で使用する PSA 基板同等品は、 GIS-E の開発を行なった明星電気に作ってもらい、電源部やパソコンとのインターフェイスは大学側が作成した。 GIS-E の改良に合わせた基板の修正も、大学側が行なった。パソコンとのインターフェイスには、研究室独自の規格の PIO ボード[13](通称、三原ボード) が使わている。インターフェイスの詳細は、付録 C を参照のこと。図 3.3 に、実験回路を使用する時の配線例を示す。タイマ回路、スケーラ回路はなくても一応動作するが、積分時間や LD HIT のカウント数がわからなくなる。

---

[12] Pulse Shape Analysis の略だと思われる。

[13] Parallel Input/Output ボードの略。 8/16 ビット単位でデータのやりとりができる。

3.4 パソコン版 QL ソフト (PH)

パソコン版の QL ソフトには **PH**[14] という名前が付けられており、衛星試験のみならず **GIS** 単体の熱真空試験、温度試験、振動試験、オンボードソフトの試験と **GIS** の開発のほとんどあらゆる場面で使われてきた。(→3.6 P.37) それだけに、使い込まれて動作も安定しており、さまざまな要求に答えてプログラムも大きく便利なものになった。現在ではソースは 1 万行に達し、なおも改良されつつある。

3.4.1 動作環境

PH は、NEC の PC-9801 シリーズの VM 以降の機種、およびその互換機上で動作する。実行ファイルは MS-DOS[15]の EXE ファイル形式で、起動には 400KB 程度の空きメモリが必要である。実行に必要なファイルは、

```
PH.EXE  PHTABLE.CQL  GISTABLE.CQL
```

の 3 つで、これらを同じディレクトリ内に入れておけばよい。オンボードプログラムのロードや、メモリチェックを行ないたい時は、子プロセスとして

```
PRG-FM.EXE  PRG-PM.EXE  RMCHK.EXE
```

を呼び出すので、これらのプログラムも必要である。

PH を起動するには MS-DOS のコマンドラインから、`PH` と打って [RET] キーを押す。そうすると、自動的に QL が始まる。**PH** を終了するには [ESC] を押してメインメニューを出し、[Q] を押すかカーソルで選んで [RET] を押すかして終了を選択する。

PH は 3.3 で挙げた、衛星テレメータファイル、FM チェックボックス、PM チェックボックス、実験回路の 4 つの実験環境で動かすことができる。名前は便宜上全て PH.EXE としているが、実行ファイルはそれぞれの環境用のものを用いる必要がある。それぞれの環境で、できるだけ同じ操作ができるように作ってあるが、ある環境でしか使えない機能、逆にある環境では使えない機能もいくつかあるので、簡単に書いておく。主にハードウェアによる制約である。

衛星テレメータファイル用の **PH** は、コマンドを打つことができない。プログラムロードやメモリチェックもできない。これらは、衛星管理装置 (MS) の仕事である。また、テレメータファイルを読むマシンが増えて A-80 の負荷が大きくなると、QL が遅れるという現象がしばしば発生する。そのため、QL が 20 秒以上遅れるとフレームをスキップするようになっている。動作環境のところで説明したように、QL を行なう場合には A-80 上のテレメータファイルを NFS で読めるように設定しておく必要がある。標準では `r:¥` にテレメータファイルがあるものとしているが、それ以外の場所にテレメータファイルをおきたい時は、環境変数 `ASTROD_ROOT` を設定する (→3.4.5 P.33)。

FM チェックボックス用の **PH** のみにある機能として、ペンレコーダ出力の制御がある。[SHIFT] + [F5] キー ([SHIFT] キーと [F5] キーを同時に押す) のメニューがそれである。

PM チェックボックス用の **PH** は、FM チェックボックス用に比べ、センサーの温度や HV の電圧、電流値などの HK 出力が表示されない、MPC モードに対応していない、ビットレートの表示が常に High になっている、メモリチェックができない、といった制限がある。

実験回路用の **PH** は最も制限が多く、[F6] から [F9] 以外の画面 (次節参照) に全く意味はないし、1 つのセンサーしかデータを取れず、打てるコマンドも LD と Fine Gain の設定だけである。しかし、最も情報量の多い PCAL モードで、しかもテレメトリに制約されない高いカウントレートでデータを取れるという利点もある。

---

[14] **GIS** のモードのひとつである PH モードの名前を取って三原によりつけられた。波高の意味を表す PH と混同しやすいので、太文字で書くことにする。

[15] Copyright Microsoft Corp.

3.4.2 PH の持つ画面

PH は、10 以上にものぼる画面を持っており、それぞれがファンクションキーに対応している。図 3.4、図 3.5 に各画面の一覧を示す。以下、順にそれぞれの画面について説明する。

共通画面

常に画面の右側に表示されている画面で、現在取り込んでいるフレームの番号、ステータスビットの内容、HK の値などのモードによらず出力されるデータや最新のイベントの 16 進ダンプなどが表示されている。一番下の 2 行には、DL 時や衛星テレメータファイルからフレームデータを読んでいる時にはそのデータの時刻が、チェックボックスや実験回路につながっていてコマンドを打つことができる時はコマンドの入力を促すプロンプトが、表示されている。

[F1] ビットマップ画面

フレームのビットイメージをグラフィック画面にそのまま表示したのがこの画面である。1 画面で 1 サブフレーム分の全てのデータが表示される。**PH** の起動直後はこの画面が現れる。こんなものを見てもしようがないと思うかもしれないが、慣れれば、これを見ただけでフレームの埋まり具合がどの程度なのかとか、今どんなモードなのかとかいったことが、ひとめでわかるようになる。[HOME] キーを押すとビットマップの部分が一旦消去され、どこを描画中であるのかわかりやすくなる。

[F2] ブロック **OS** ダンプ画面

GIS のブロックコマンドの設定内容[16]を、2 進 (ハードワイヤの部分) および 16 進 (ブロックテーブルと呼ばれる部分) で表示を行なっているキャラクタ画面である。ハードワイヤの部分は色分けがされており、より見やすくなっている。[HOME] キーで画面のクリアが行なえる。

[F3] フレームダンプ画面

サブフレーム中の任意のフレームを、16 進ダンプするキャラクタ画面。この画面が表示されている時に [F3] キーを押すと、上下それぞれに対して

```
ダンプフレームの番号 (10 進)[nn] □
```

と聞いてくるので、0 ～ 63 の数字を入力してやればどのフレームをダンプするかが指定できる。数字 (nn) を変更したくない時は、数字を入力せずにただ [RET] を押す。**GIS** が関係する部分は色分けがされており、より見やすくなっている。[HOME] キーで画面のクリアが行なえる。

[F4] モニタカウント画面

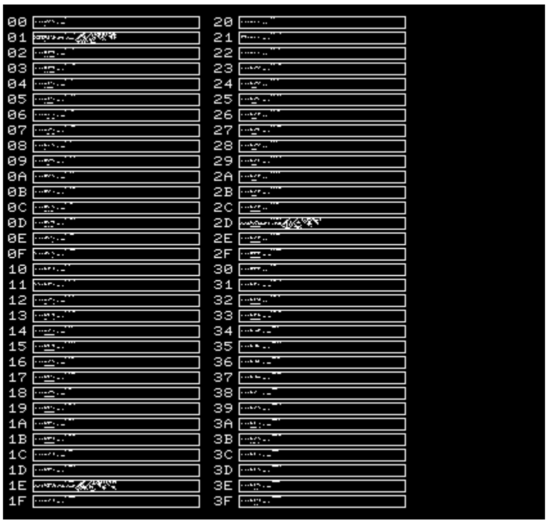
GIS モニタデータ[17] をグラフにして表示を行なう画面。フレームに出力されるモニタデータは 8bit のノンリセットカウンタの値であるが、画面には差分をとったものが表示されている。L0, L1, L2, H0, H1, H2, LD HIT, CPU IN, CPU OUT に関しては、横軸が時間で縦軸がカウント数となっている。横軸のフルスケールは、LD HIT 以外は 200 フレーム (bit-rate High で 6.25 秒) LD HIT は 100 フレーム (同 3.125 秒) である。右端まで行くと左端に戻るようになっている。PCAL モードではモニタデータの出力形式が異なるが、それにも正しく対応している。

---

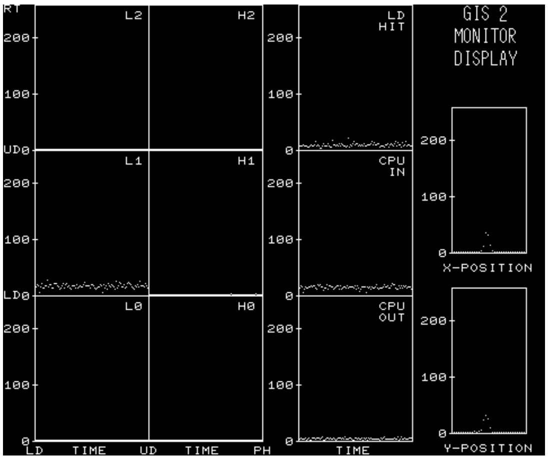
[16] 毎フレーム W97 に出力される

[17] 毎フレーム W50, 51, 64, 65, 66, 67 に出力されるいろいろな種類のイベントのカウント数。

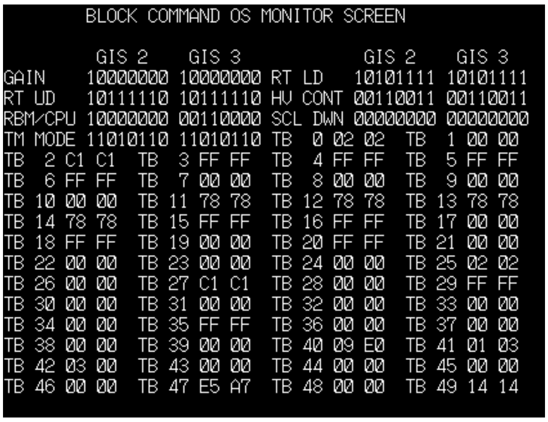
図 3.4　**PH 画面一覧** (その 1)



[F1] ビットマップ画面

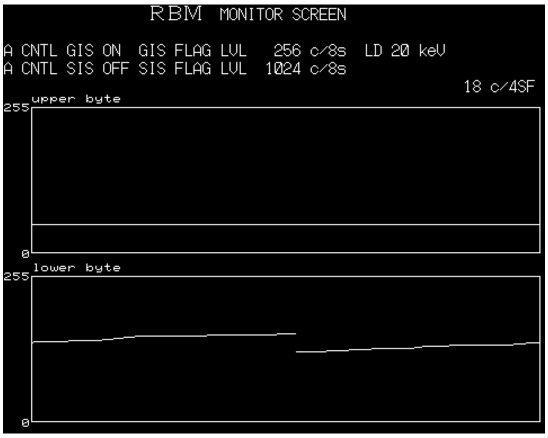


[F4] モニタカウント画面



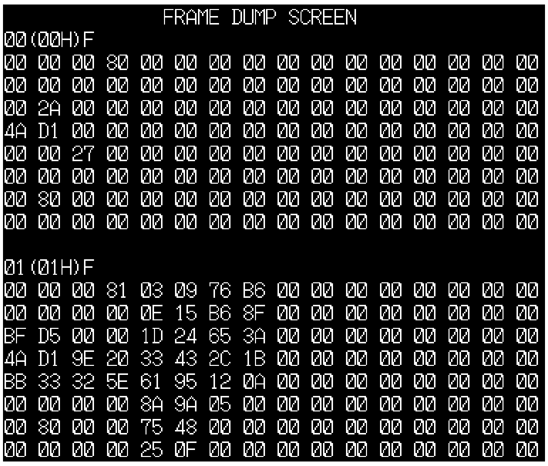
```
         BLOCK COMMAND OS MONITOR SCREEN

          GIS 2    GIS 3             GIS 2    GIS 3
GAIN     10000000 10000000 RT LD    10101111 10101111
RT UD    10111110 10111110 HV CONT  00110011 00110011
RBM/CPU  10000000 00110000 SCL DWN  00000000 00000000
TM MODE  11010110 11010110 TB  0 02 02  TB  1 00 00
TB  2 C1 C1  TB  3 FF FF  TB  4 FF FF  TB  5 FF FF
TB  6 FF FF  TB  7 00 00  TB  8 00 00  TB  9 00 00
TB 10 00 00  TB 11 78 78  TB 12 78 78  TB 13 78 78
TB 14 78 78  TB 15 FF FF  TB 16 FF FF  TB 17 00 00
TB 18 FF FF  TB 19 00 00  TB 20 FF FF  TB 21 00 00
TB 22 00 00  TB 23 00 00  TB 24 00 00  TB 25 02 02
TB 26 00 00  TB 27 C1 C1  TB 28 00 00  TB 29 FF FF
TB 30 00 00  TB 31 00 00  TB 32 00 00  TB 33 00 00
TB 34 00 00  TB 35 FF FF  TB 36 00 00  TB 37 00 00
TB 38 00 00  TB 39 00 00  TB 40 09 E0  TB 41 01 03
TB 42 03 00  TB 43 00 00  TB 44 00 00  TB 45 00 00
TB 46 00 00  TB 47 E5 A7  TB 48 00 00  TB 49 14 14
```

[F2] ブロック OS ダンプ画面



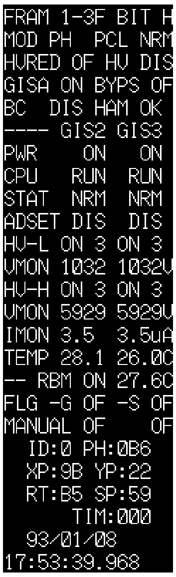
```
           RBM  MONITOR SCREEN
A CNTL GIS ON  GIS FLAG LVL   256 c/8s  LD 20 keV
A CNTL SIS OFF SIS FLAG LVL  1024 c/8s
                                           18 c/4SF
```

[F5] **RBM** 画面



```
                 FRAME DUMP SCREEN
00(00H)F
00 00 00 80 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 2A 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
4A D1 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 27 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 80 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00

01(01H)F
00 00 00 81 03 09 76 B6 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 0E 15 B6 8F 00 00 00 00 00 00 00 00
BF D5 00 00 1D 24 65 3A 00 00 00 00 00 00 00 00
4A D1 9E 20 33 43 2C 1B 00 00 00 00 00 00 00 00
BB 33 32 5E 61 95 12 0A 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 8A 9A 05 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 80 00 00 75 48 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 25 0F 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
```

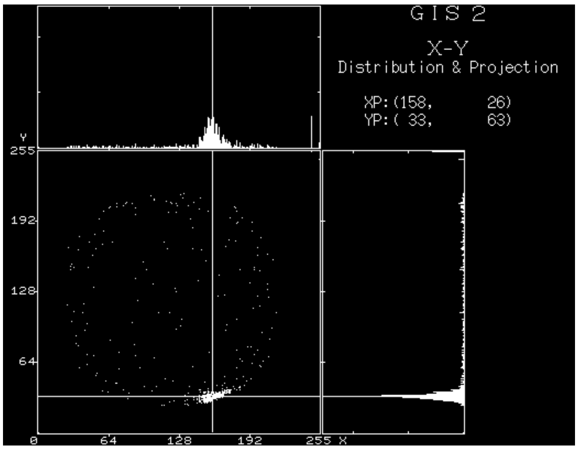
[F3] フレームダンプ画面



```
FRAM 1-3F BIT H
MOD PH  PCL NRM
HVRED OF HV DIS
GISA ON BYPS OF
BC  DIS HAM OK
---- GIS2 GIS3
PWR    ON   ON
CPU   RUN  RUN
STAT  NRM  NRM
ADSET DIS  DIS
HV-L ON 3 ON 3
VMON 1032 1032V
HV-H ON 3 ON 3
VMON 5929 5929V
IMON 3.5  3.5uA
TEMP 28.1 26.0C
-- RBM ON 27.6C
FLG -G OF -S OF
MANUAL OF    OF
  ID:0 PH:0B6
  XP:9B YP:22
  RT:B5 SP:59
      TIM:000
  93/01/08
17:53:39.968
```

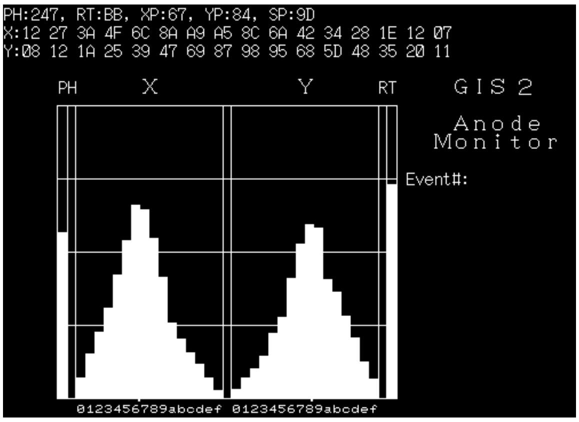
共通画面

図 3.5　**PH** 画面一覧 (その 2)



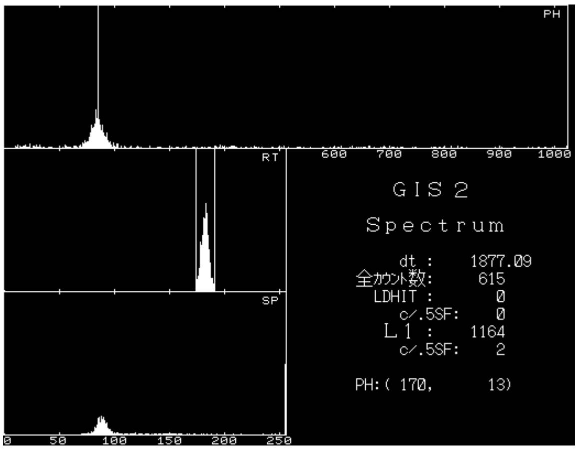
XP:(158, 26)
YP:(33, 63)

[F6] X/Y 画面



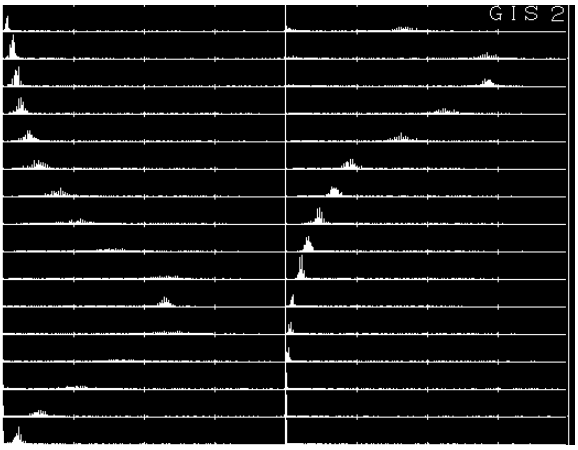
```
PH:247, RT:BB, XP:67, YP:84, SP:9D
X:12 27 3A 4F 6C 8A A9 A5 8C 6A 42 34 28 1E 12 07
Y:08 12 1A 25 39 47 69 87 98 95 68 5D 48 35 20 11
```

[F9] アノードモニタ画面

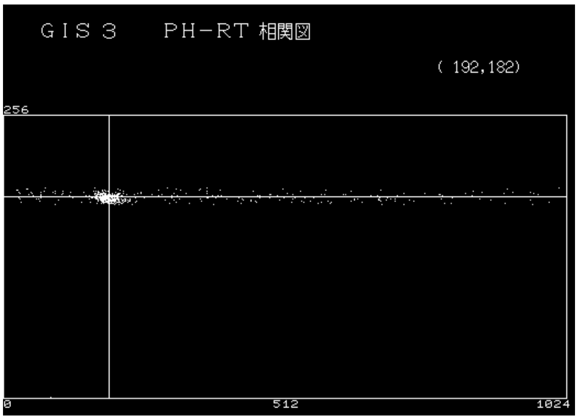


dt : 1877.09
全カウント数: 615
LDHIT : 0
c/.5SF: 0
L 1 : 1164
c/.5SF: 2
PH:(170, 13)

[F7] スペクトル画面



[F9]’ アノードスペクトル画面



[F8] 相関図画面

```
TABLE SCREEN Ver.7  OBSERV DC 00-00 AD 00000 DT 00000
----- GIS-2 --> CPU-2(14) SELF-CONNECT -------------------------
GAIN 32  PH-LD:0 0.3keV  SCLDWN LD:-- L1:-- DIST:1/1   MSK2:1/1
BIT PH:10b1024  XP:6b64   YP:6b64   RT:8b256  SP:0b1   XRAY:1/1
METHOD 2JO  ANOD TUNE DIS  PH TUNE DIS       MPC:8b256 AnFF   0
RISE TIME  1/1  175(AFh)-190(BEh)   PH EVENT ooxxxxxo  An00   0
CENTER        2(120(78h),120(78h))F(120(78h),120(78h)) Edge   0
RADIUS    DIS 2:         -255(FFh) F:         -255(FFh)  Msk1   0
SPREAD    ENA 2:00 FF 00 00 000   F:00 FF 00 00 000    Calc   0
MASK2 OUT DIS X:  0(00h)-255(FFh) Y:  0(00h)-255(FFh)  Disc   0
ANODE SEL DIS X:oooooooo oooooooo Y:oooooooo oooooooo  Msk2   0
MASK1 OR  DIS X:uuuuuuuu uuuuuuuu Y:uuuuuuuu uuuuuuuu  Xray   2

----- GIS-3 --> CPU-3(14) SELF-CONNECT -------------------------
GAIN 32  PH-LD:0 0.3keV  SCLDWN LD:-- L1:-- DIST:1/1   MSK2:1/1
BIT PH:10b1024  XP:6b64   YP:6b64   RT:8b256  SP:0b1   XRAY:1/1
METHOD 2JO  ANOD TUNE DIS  PH TUNE DIS                 AnFF   0
RISE TIME  1/1  175(AFh)-190(BEh)   PH EVENT ooxxxxxo  An00   0
CENTER        2(120(78h),120(78h))F(120(78h),120(78h)) Edge   0
RADIUS    DIS 2:         -255(FFh) F:         -255(FFh)  Msk1   0
SPREAD    ENA 2:00 FF 00 00 000   F:00 FF 00 00 000    Calc   0
MASK2 OUT DIS X:  0(00h)-255(FFh) Y:  0(00h)-255(FFh)  Disc   0
ANODE SEL DIS X:oooooooo oooooooo Y:oooooooo oooooooo  Msk2   0
MASK1 OR  DIS X:uuuuuuuu uuuuuuuu Y:uuuuuuuu uuuuuuuu  Xray   1
```

[F10] ブロックテーブル画面

この画面の表示中に [F4] を押すことによって、GIS-2 と GIS-3 のどちらの表示を行なうか切り替えることができる。[HOME] キーで画面のクリアが行なえる。

[F5] **RBM** 画面

RBM の状態や、カウント数を表示する画面。横軸が時間で、縦軸がカウント数である。カウント数はノンリセットカウンタの値を差分を行なわずにそのまま表示している。横軸のフルスケールは 450 フレーム (bit-rate High で 14.0625 秒) で、右端まで行くと左端に戻るようになっている。[HOME] キーで画面のクリアが行なえる。

[F6] **X Y** 画面

GIS の画像イメージと、X Y 方向へ投射した 1 次元像を表示する画面。X は右、Y は上が正の方向で、実際に空を見た時の像と逆になっている。イメージは 8 色のカラー表示で、だいたい 1、3、7、15、31、63、127 カウントを越えるごとに黒、赤、紫、青、緑、黄、水、白 と色が変化する。X/Y のビット数が 8 に達しない場合は、乱数を振って点を散らすという操作も行なっている。1 次元像の横軸はチャンネルで、縦軸はカウント数である。縦軸はオートスケールになっており、グラフがはみ出しそうになると自動的にスケールを 1/2 にする。時間のかかる計算は行なえないため、表示はリニアのみである。画像イメージや 1 次元像は、他の画面を見ている時も集積され続けている。

[F6] キーで GIS-2 と GIS-3 の切り替え、[HOME] キーで画像と 1 次元像のクリア (GIS-2, 3 とも) が行なえる。また、カーソルがついており、カーソルキーで上下左右に動かして X/Y のスペクトルのカウント数を読むことができる。その時、[SHIFT] キーをカーソルキーを一緒に押せば移動を速く行なえる。

[F7] スペクトル画面

PH、RT、SP のスペクトルを表示する画面。上から順に、PH、RT、SP のスペクトルで、横軸がチャンネル、縦軸がカウント数である。PH のビット数は最大 10bit で画面に表示しきれないため、PH のスペクトルのみ 2ch ずつまとめて 512 のラインで表示している。ただし、カーソルでは 1ch ずつカウント数を読むことができる。タイトルの下には、前回クリアを行なってからの積分時間、画面に表示されているデータの全カウント数、LD HIT のカウント数、同カウントレート、L1 カウントのカウント数、同カウントレートも表示されている。使用できるキーは X/Y 画面と同じである。

RT のビット数が少ない時や、RT ディスクリがかかっている時は、RT スペクトルのグラフに RT が許される領域を示す棒が現れるようになっている。ディスクリによるものは緑、ビット数による制限は水色の棒で示される。

[F8] 相関図画面

2 次元の相関図を表示する画面。標準では横軸が PH、縦軸が RT となっているが、[CTRL] + [↑] / [↓] で横軸を PH, RT, SP, XP, YP, 半径[18], (半径)^2/64 の中から、[CTRL] + [$leftarrow$] / [→] で縦軸を RT, SP, XP, YP, 半径,(半径)^2/64 の中から選ぶことができる。相関図も 8 色でカラー表示が行なわれ、他の画面を見ている時も集積が続けられる。その他に使用できるキーは、X/Y 画

---

[18] ブロックテーブルで指定される中心からの距離

面、スペクトル画面と同じであるが、カーソルでカウント数を読むことはできず、上下左右に動かせるだけである。

[F9] アノードモニタ画面

PCAL モード時に、一つ一つのイベントを 16 進の値とグラフィックで表示する画面。PCAL モード以外でも何かしら表示はされているが、意味のあるものではない。画面の上部に表示される 16 進数の数字が、最新の 1 イベントの PH,RT, XP, YP, SP, X/Y の 0 ∼ F アノードの値である。その下の図は、左から順に PH, X の 0 ∼ F アノード、Y の 0 ∼ F アノード、RT を棒グラフにしたものである。PH のみフルスケールが 1023、その他は 255 となっている。また XP、YP の位置が、小さな水色の点で棒グラフの下に示されている。残念ながら、SP に対応するグラフィック表示はない。

[F9] キーで、GIS-2 と GIS-3 の切替が行なえる。[SHIFT] + [HOME] キーを押すことによって、次のアノードスペクトル画面と切り替わる。

[F9]' アノードスペクトル画面

X/Y の全部のアノードのスペクトルを表示する画面。左側が X、右側が Y のアノードのスペクトルで、上から順に 0, 1, ···, F となっている。この画面には、カーソルは付いていない。[F9] キーで、GIS-2 と GIS-3 の切替が行なえる。[SHIFT] + [HOME] キーで、アノードモニタ画面と切り替わる。[HOME] キーで画面とスペクトルのクリアが行なえる。

[F10] ブロックテーブル画面

主に **GIS** のブロックテーブル[19]をわかりやすく表示するためのキャラクタ画面。フレームのどの部分をどのように表示するかは、`PHTABLE.CQL` というファイルに全て記述されており、最初にこの画面に切り替えた時にそのファイルを読み込むようになっている。この表示フォーマットを記述したファイルは、ワークステーション用の QL ソフトでも全く同じものが使用できる。

3.4.3 コマンド機能

PH からコマンドを打つには、以下のような方法がある。ただし、コマンド機能が使えるのはチェックボックスか実験回路を使用している時だけであるので注意。

コマンドコードの直接入力

共通画面の下に出ているプロンプトから入力する方法である。コマンドを打つには、16 進数でコマンドコードを入力して [RET] を押すという操作を行なう。[BS] キーを使えば、一度入力した数字を消して、入力し直すことができる。16 進 2 桁なら DC[20]、4 桁なら BC[21] と自動的に判別される。長い BC を打ちたい時は、`10`(GIS BC ENA)[RET], BC[RET], ···, `X`[RET] というふうに BC ENA の DC を打った後 BC を続けて打ち、最後に “X” を入力すればよい。

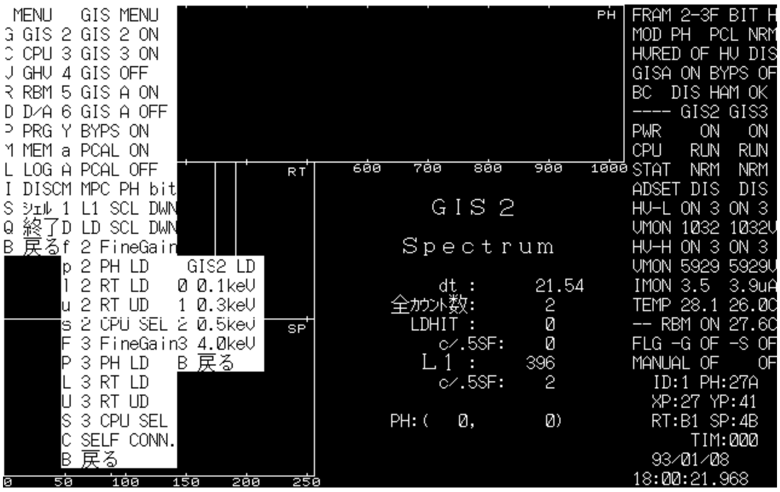
当然コマンドコードを覚えていないと打てないが、覚えていればこれが一番速く、QL が中断されることもない。

---

[19] 毎フレーム W97 に出力されるブロックコマンドの設定内容のうち、2 サブフレーム周期で繰り返される部分。主にオンボードソフトの振舞いを決定するのに使われる。

[20] Discrete Command

[21] Block Command



```
      G I S 2

    S p e c t r u m

      dt :       21.54
  全カウント数:       2
    LDHIT :          0
      c/.5SF:        0
     L 1 :         396
      c/.5SF:        2

  PH:(   0,          0)
```

```
FRAM 2-3F BIT H
MOD PH  PCL NRM
HVRED OF HV DIS
GISA ON BYPS OF
BC  DIS HAM OK
---- GIS2 GIS3
PWR    ON   ON
CPU   RUN  RUN
STAT  NRM  NRM
ADSET DIS  DIS
HV-L ON 3 ON 3
VMON 1032 1032V
HV-H ON 3 ON 3
VMON 5929 5929V
IMON 3.5  3.9uA
TEMP 28.1 26.0C
-- RBM ON 27.6C
FLG -G OF -S OF
MANUAL OF    OF
  ID:1 PH:27A
  XP:27 YP:41
  RT:B1 SP:4B
      TIM:000
  93/01/08
18:00:21.968
```

図 3.6　メニューの選択例。[ESC]、[G]、[2] と押したところ

メニューからの選択

[SHIFT] キーとファンクションキーを同時に押すとコマンドのメニューが現れる。その中から打ちたいコマンドを選べば、コマンドが打たれる。メニューの選択は、カーソルキーで黄色の反転表示になっている項目を選択して [RET] キーを押すか、各項目の先頭に書かれている文字を入力することで行なわれる。どのファンクションキーがどのメニューに対応しているかは、[SHIFT] キーを押すと画面の最下行に各メニューのタイトルが現れるので、それを見れば簡単にわかるようになっている。コマンドメニューは、[ESC] キーを押した時に現れるメインメニューのサブメニューとして呼び出すこともできる。図 3.6 は、[ESC]、[G]、[2] と押して GIS-2 の LD の設定のメニューを呼び出した時の画面である。

メニューを使えば、コマンドコードを覚えていなくてもコマンドが打てるし、ブロックテーブルの特定のビットだけを変えるというような操作も簡単にできる。しかし、メニューの表示中はフレームデータの取り込みが止まってしまうという欠点もある。

表 3.2 に、**PH** のメニューの一覧を示す。基本的に **GIS**、**RBM** に関連する全てのコマンドが打てるようになっているが、ブロックテーブルの変更に関しては、テーブルに入れる 16 進数の数字を聞いてくるだけなので、コマンドコードを直接入力するのと大差ない。

ブロックコマンドの一括実行

ちょっと特殊なコマンドの打ち方になるが、現在のブロック OS モニタの内容全てをファイルに保存し、次回そのファイルを読み込んで自動的にブロックコマンドを打たせることができる。例えば **GIS** の標準的な状態を保存しておいて、**GIS** の電源を入れた時や、特殊な設定を行なった後にそれを読み込む、というように使われる。

これを行なうには、以下のような操作を行なう。[F10] ブロックテーブル画面で [RET] キーを押す。前に数字 (0 ∼ 9, A ∼ F) が入力されているとコマンドとして認識されるので注意。すると、

`Block Table Save/Load (s/l) ? □`

と聞いてくるので、保存したい時は `[s]`、読み込みたい時は `[l]` を押す。すると、

`File Name ?  : □`

と保存あるいは読み込みを行なうファイルの名前を聞いてくるので、ファイル名を入力し [RET]

起動キー	[ESC]	[SHIFT]+[F1]	[SHIFT]+[F2]	[SHIFT]+[F3]	[SHIFT]+[F4]
	MENU	GIS MENU	CPU MENU	GHV MENU	RBM MENU
	G GIS	2 GIS 2 ON	2 CPU 2 RST	E GHV ENA	N RBM ON
	C CPU	3 GIS 3 ON	3 CPU 3 RST	D GHV DIS	F RBM OFF
	V GHV	4 GIS OFF	c CPU 2 STP	o GHV L2 ON	g RBF G ON
	R RBM	5 GIS A ON	C CPU 3 STP	n GHV H2 ON	s RBF S ON
	D D/A	6 GIS A OFF	P TM PH	O GHV L3 ON	G RBF G OFF
	P PRG	Y BYPS ON	X TM XPOS	N GHV H3 ON	S RBF S OFF
	M MEM	a PCAL ON	Y TM YPOS	F GHV OFF	a A CNTL GIS
	L LOG	A PCAL OFF	R TM RT	R GHV RED ON	v GIS LVL
	I DISC	M MPC PH bit	S TM SP	M GHV RED OFF	A A CNTL SIS
	S シェル	1 L1 SCL DWN	t CPU2 TABLE	l GHV L2 LVL	V SIS LVL
	Q 終了	D LD SCL DWN	T CPU3 TABLE	h GHV H2 LVL	L LD LVL
	B 戻る	f 2 FineGain	B 戻る	L GHV L3 LVL	B 戻る
		p 2 PH LD		H GHV H3 LVL	
		l 2 RT LD		B 戻る	
		u 2 RT UD			
		s 2 CPU SEL			
		F 3 FineGain			
		P 3 PH LD			
		L 3 RT LD			
		U 3 RT UD			
		S 3 CPU SEL			
		C SELF CONN.			
		B 戻る			

表 3.2　**PH** のメニュー一覧

左 1 例はメインメニュー、右 4 例はコマンドに関するサブメニューである。

キーを押す。これで操作は完了である。

[s] を押した時はそのファイルに現在のブロック OS モニタの内容がバイナリで書かれる。すでに存在するファイルを指定した時や、書き込みに失敗した時は、それぞれに対応するエラーメッセージが表示され、何かキーが押されるまで停止する。

[l] を押した時は、そのファイルからブロック OS モニタの内容が読み込まれ、連続的にブロックコマンドが打たれる。存在しないファイルを指定した時や、読み込みに失敗した時は同様にエラーメッセージが表示される。設定される内容には、HV レベルの設定など、危険なものも含まれるため実行前には HV を OFF にしておくのが望ましい。

3.4.4　データセーブ機能

PH は、内部で処理を行なったさまざまな 2 次データをファイルに落とす機能を備えている。**PH** においてそのようなファイルセーブに関する機能は、前項で説明したブロック OS モニタの内容の保存も含めて [RET] キーに割り当てられており、どの画面で [RET] を押すかでセーブされる内

容が違うようになっている。以下に、各画面で [RET] キーを押した時のセーブ手順や、セーブされる内容を説明する。

全画面セーブ

[F1] ビットマップ画面で [RET] キーを押した場合がこれで、スペクトルやイメージ、相関図、GIS の状態など、**PH** がその時点で保持しているほとんど全ての情報がバイナリでセーブできる。ただし、RBM カウントやアノードスペクトルはセーブされない。

具体的なセーブ方法は、まず、ビットマップ画面にして [RET] キーを押す。すると、右下で

```
データ ID(最大２文字） ？ □
```

と聞いてくるので、適当な 1 文字か 2 文字の文字列 (ここでは仮に ss とする) を入力し、[RET] を押す。すると、QL を行なっている時は現在時刻、DL を行なっている時はデータの時刻情報を参照して mmddhhss.sav[22]という名前のファイルが作られ、そこに上記の情報が保存される。ファイルができるディレクトリは、環境変数 `PHDATA` にディレクトリ名が設定されていればそのディレクトリ、されていなければカレントディレクトリとなる。`PHDATA` に設定するディレクトリ名は、MS-DOS のパス名の区切り文字である ¥ で終了していなければならない。すでに存在するファイルを指定した時や、書き込みに失敗した時は、それぞれに対応するエラーメッセージが表示され、何かキーが押されるまで停止する。また、[ESC] を押すか、ファイル名を入力しなければセーブしないで抜けられる。

セーブされるファイルのフォーマットは **PH** 内部のデータ領域がそっくりコピーされたバイナリファイルで、大きさは約 180 KB である。セーブされた内容を見るには **PH** の起動時にそのファイルを引数として指定する。すると、**PH** はセーブされた内容を読み込んだのちに、フレームデータの取り込みを停止した状態になるので、後は **PH** 上で好きに画面を切り替えてデータを閲覧できる。

フレームダンプ

[F3] フレームダンプ画面で [RET] キーを押した場合がこれで、**PH** がその時点で保持している 1 サブフレーム (64 フレーム) 分のフレームデータをテキスト形式でセーブできる。

セーブ方法は、まず、フレームダンプ画面にして [RET] キーを押す。すると、右下で

```
データ出力ファイル名 ？ □
```

と聞いてくるので、セーブするファイル名を入力し [RET] キーを押せば、ファイルが作られフレームデータがセーブされる。ファイルのフォーマットは、フレームダンプ画面と同じ形式のフレームデータが 0 フレーム から 63 フレームまで続くテキスト形式である。

スペクトルセーブ

[F6] X/Y 画面、[F7] スペクトル画面、[F8] 相関図画面のいずれかで [RET] キーを押した場合がこれで、**PH** が集積した 1 次元像やスペクトルのデータを研究室内で PHA 形式[23]と呼ばれているファイル形式で保存することができる。GIS-2、3 両方の PH、XP、YP、RT、SP のスペクトルが一度にセーブされる。積分時間や温度、HV のレベルなども一緒に保存される。PHA 形式のファイルフォーマットについては、付録 D を参照のこと。

セーブの手順は [RET] キーを押す画面が異なる以外は全画面セーブと同じであるが、ファイル名の拡張子は “.pha” となる。

---

[22] mm は month 、dd は day、hh は hour を十進数 2 桁の数字で表したもの

[23] もともと PHA(Pulse Height Analyzer) から取り込んだデータを扱うのに使われていたので、このように呼ばれている。

PCAL 生データセーブ

[F9] アノードモニタ画面で [RET] キーを押した場合がこれで、PCAL モード時において各イベントの PH、RT、X/Y アノードのデータを、研究室内で gi 形式[24]と呼ばれているファイル形式で保存することができる。gi 形式は **GIS** の較正実験で取られている **GIS** のキャリブレーション用データに使われており、詳しいフォーマットの説明は付録 D にある。フォーマットが違うことや時刻情報がつかないことを除けば、PCAL モードのフレームデータと大差ない情報がセーブされる。

セーブを行なうファイルの指定は、[RET] キーを押す画面が異なる以外は全画面セーブと同様に行なう。ファイル名の拡張子は “.dat” となる。また、ファイルを作るディレクトリを指定する環境変数は、`PHDATA` ではなく `PHPCAL` となっている。ファイル名を指定した後は、1 つイベントが来るごとに gi 形式でファイルにデータが記録され、ファイルに記録されたイベントの数が画面の `Event#:` と書かれているところに表示される。ただし、[F9] アノードモニタ画面以外に画面を切り替えている間はデータの記録は行なわれないので注意。ファイルへの記録を終了したい時は、もう一度 [RET] キーを押せば良い。

アノードスペクトルセーブ

[F9]’ アノードスペクトル画面で [RET] キーを押した場合がこれで、**PH** が集積した GIS-2、3 両方のアノードスペクトルのデータを PHA 形式で保存できる。

セーブの手順は [RET] キーを押す画面が異なる以外は全画面セーブと同じであるが、ファイル名の拡張子は “.ano” となる。

ブロック OS モニタのセーブ

[F10] ブロックテーブル画面で [RET] キーを押した場合がこれであるが、詳しくは前項に書かれている。

3.4.5 DL のやり方

PH は、DL も同じプログラムで行なうことができる。しかし、DL 時にフレームデータを読み込むファイルの形式は、衛星テレメータファイル用、チェックボックス用、実験回路用の **PH** でそれぞれ異なっており、DL のやり方もいくらか違う部分がある。そこで、以下にそれぞれの場合に分けて説明を行なう。

衛星テレメータファイル用 PH の場合

この場合は、QL からしてファイルを読んでフレームデータを取り込んでいるので、DL だからといって特に準備することはない。`r:¥` あるいは、環境変数 `ASTROD_ROOT` で指定したディレクトリに衛星テレメータファイルが存在すれば DL が行なえる[25]。`ASTROD_ROOT` に指定するディレクトリ名は、MS-DOS のパス名の区切り文字である `¥` で終了していなければならない。

DL を行なうには、**PH** の起動時に DL を開始する時刻を引数として指定する。時刻の指定は、yymmddhhmmss[26] のように 12 桁の数字で行なう。その時刻のフレームデータがなかった時は、`Can’t open telemetry file` というエラーメッセージが出力され、プログラムを終了する。

---

[24] もちろん、**GIS** の頭 2 文字からとった。

[25] これは、QL を行なうための必要条件でもある。QL を行なうためには、さらに衛星テレメータファイルの中の QL フラグが ON になっていなければならない。

[26] yy は西暦の下 2 桁、mm(1 つめ) は month、dd は day、hh は hour、mm(2 つめ) は minute、ss は second を十進数 2 桁の数字で表したもの。

FM/PM チェックボックス用 **PH** の場合

チェックボックス用の **PH** で DL をするには、DL 用にフレームデータを書き出したファイルを用意する必要がある。このファイルは、次項で説明する [ESC] [L] ログ機能で作成できる。このログファイルをカレントディレクトリか、環境変数 `PHLOG` で指定されるディレクトリの中に置く。`PHLOG` に指定するディレクトリ名は、MS-DOS のパス名の区切り文字である ¥ で終了していなければならない。

あとは、衛星テレメータファイル用の **PH** と同じ方法で DL を始められる。

実験回路用 **PH** の場合

実験回路用の **PH** で DL を行なう際にもフレームデータを読み込むファイルが必要であるが、こちらはチェックボックス用の **PH** と違って、gi 形式でセーブされたファイルを用いる。前項で説明したように、[F9] アノードモニタ画面で [RET] キーを押せば、**PH** でも gi 形式でデータをセーブできる。

gi 形式のデータファイルには時刻情報が含まれていないので、引数に指定するのは時刻ではなく、gi 形式のファイルのパス名となっている。そうすると、ファイルの先頭のデータから DL が始まる。

3.4.6 その他の機能

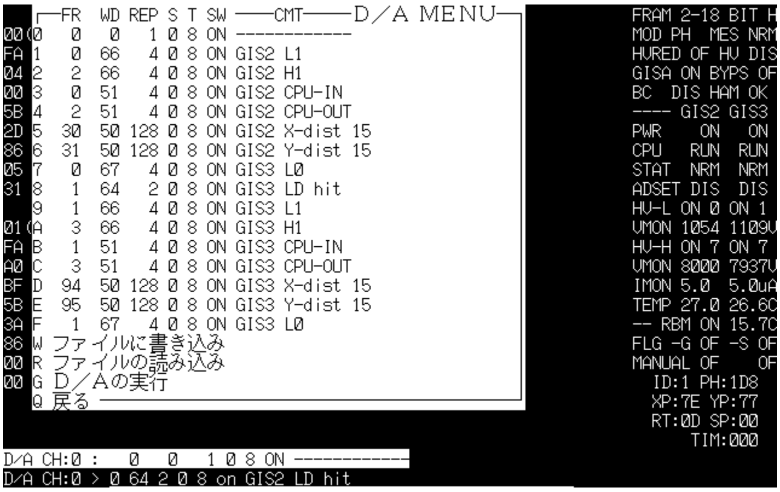
PH は、ここまでに述べた以外にも知っておくと便利な機能をいろいろ持っている。以下にそれを紹介する。また、この項の最後に **PH** のキー操作一覧 (表 3.3、環境変数一覧 tPHexe-env、オプション一覧 tPHexe-option を付けるので、活用して欲しい。

[カナ] フレームデータの取り込み停止

[カナ] キーをロックすることで、フレームデータの取り込みを停止させることができる。データの取り込みが停止するだけなので、停止している間も画面の切り替えなどは自由に行なえる。QL を行なっている場合は、停止している間のデータは捨てられてしまうので注意。DL を行なっている時は、さらにスペースキーを押すことで 1 フレームずつフレームデータを取り込むということもできる。

[SHIFT] + [F5] ペンレコーダ出力の制御

[SHIFT] + [F5] で、ペンレコーダ出力を制御するためのメニュー (D/A メニュー) が現れる。メインメニューの `D D/A` を選んでも良い。FM チェックボックス用の **PH** でのみ使用できる。ペンレコーダ出力のポートは 16 本あり、それぞれについて出力を行なうかどうか (ON/OF) や、何フレーム (FI)、何ワード (WD) の、何ビット目 (S) からの何ビット (T) を何フレームおき (REP) に出力するかを指定できる。また、設定した内容をファイルに書き込んだり、ファイルから読み込んだりもできる。図 3.7 は、D/A メニュー画面でポート 0 の設定をしているところである。**PH** は、起動時に `DAMENU.INI` というファイルがあれば読み込み、メニューの初期化を行なう。さらに、オプション `-dago` が指定されていれば、ペンレコーダ出力のポートの初期化も行なう。



```
  ┌─FR  WD REP S T SW ───CMT────D／A MENU─┐
00(0   0   0   1 0 8 ON ------------        │
FA 1   0  66   4 0 8 ON GIS2 L1             │
04 2   2  66   4 0 8 ON GIS2 H1             │
00 3   0  51   4 0 8 ON GIS2 CPU-IN         │
5B 4   2  51   4 0 8 ON GIS2 CPU-OUT        │
2D 5  30  50 128 0 8 ON GIS2 X-dist 15      │
86 6  31  50 128 0 8 ON GIS2 Y-dist 15      │
05 7   0  67   4 0 8 ON GIS3 L0             │
31 8   1  64   2 0 8 ON GIS3 LD hit         │
   9   1  66   4 0 8 ON GIS3 L1             │
01(A   3  66   4 0 8 ON GIS3 H1             │
FA B   1  51   4 0 8 ON GIS3 CPU-IN         │
A0 C   3  51   4 0 8 ON GIS3 CPU-OUT        │
BF D  94  50 128 0 8 ON GIS3 X-dist 15      │
5B E  95  50 128 0 8 ON GIS3 Y-dist 15      │
3A F   1  67   4 0 8 ON GIS3 L0             │
86 W ファイルに書き込み                       │
00 R ファイルの読み込み                       │
00 G D／Aの実行                              │
   Q 戻る ───────────────────────────────────┘

D/A CH:0 :   0   0   1 0 8 ON ------------
D/A CH:0 > 0 64 2 0 8 on GIS2 LD hit
```

```
FRAM 2-18 BIT H
MOD PH  MES NRM
HVRED OF HV DIS
GISA ON BYPS OF
BC  DIS HAM OK
---- GIS2 GIS3
PWR    ON   ON
CPU   RUN  RUN
STAT  NRM  NRM
ADSET DIS  DIS
HV-L ON 0 ON 1
VMON 1054 1109V
HV-H ON 7 ON 7
VMON 8000 7937V
IMON 5.0  5.0uA
TEMP 27.0 26.6C
-- RBM ON 15.7C
FLG -G OF -S OF
MANUAL OF    OF
   ID:1 PH:1D8
  XP:7E YP:77
  RT:0D SP:00
      TIM:000
```

図 3.7　D/A メニュー画面。ポート 0 の設定をしているところ

[SHIFT] + [F6] プログラムロード、[SHIFT] + [F7] メモリチェック

[SHIFT] + [F6] で、GIS-E の CPU にプログラムを書き込むソフト `PRG-FM.EXE` が、[SHIFT] + [F7] で、正常にプログラムが書き込まれたかどうかを調べるソフト `RMCHK.EXE` が起動される。メモリ容量が少ないと、うまく実行できない場合もある。チェックボックス用の **PH** でのみ使用できる。

[ESC] [L] フレームデータのログ機能

PH は、現在読み込みを行なっているフレームデータに時刻情報をつけて、そのまままるごと[27]ファイルに落とす機能 (ログ機能) を備えている。こうやって書き出されたフレームデータは、後で DL に用いられる。ログ機能を使用するかどうかは、メインメニューの `L LOG` で設定する。ログ機能を ON にすると、画面の右下に `*` と `@` の文字が 1 サブフレームごとに点灯し、ログ機能がうまく働いているかわかるようになっている。ログ機能を使用してもディスクにファイルを書いている少しの間、表示が止まるだけで、あとは全く同じように使うことができる。標準では OFF になっているが、起動時に `-log` オプションをつけるとログ機能が ON になった状態で QL が始まる。

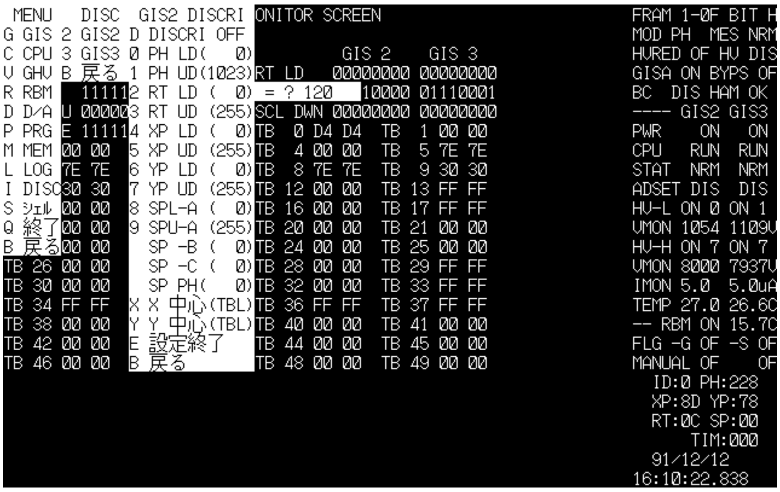
フレームデータが書き出されるファイル (ログファイル) の名前は、その時の時刻を参照して yymmddhh.log[28] と **PH** によって一意的に決められる。従って、1 時間ごとにログファイルの数が増えることになる。既にそのファイルが存在した場合は、そのファイルに追加される形で書かれるようになっている。ログファイルのできるディレクトリは、環境変数 `PHLOG` にディレクトリ名が設定されていればそのディレクトリ、されていなければカレントディレクトリとなる。`PHLOG` に設定するディレクトリ名は、MS-DOS のパス名の区切り文字である `¥` で終了していなければならない。

ログファイルの大きさは、1 サブフレームあたり 2701 byte になる。従って、bit-rate High で 1 時間取り続けると、4.8 MB の大きさのログファイルができる。ファイルのフォーマットは付録 D を参照のこと。参考までに、**GIS** 単体の熱真空試験では、ログ機能を用いて試験期間中の全てのデータがディスクに記録されている。

---

[27] 本当は **GIS** が関係する部分だけがファイルに落ちる。

[28] yy は西暦の下 2 桁、mm は month 、dd は day、hh は hour を十進数 2 桁の数字で表したもの



```
 MENU   DISC  GIS2 DISCRI ONITOR SCREEN                        FRAM 1-0F BIT H
G GIS 2 GIS2 D DISCRI OFF                                      MOD PH  MES NRM
C CPU 3 GIS3 0 PH LD(   0)         GIS 2    GIS 3              HVRED OF HV DIS
V GHV B 戻る 1 PH UD(1023)RT LD   00000000 00000000            GISA ON BYPS OF
R RBM    111112 RT LD (  0) = ? 120     10000 01110001         BC  DIS HAM OK
D D/A U 000003 RT UD (255)SCL DWN 00000000 00000000            ---- GIS2 GIS3
P PRG E 111114 XP LD (  0)TB  0 D4 D4  TB  1 00 00             PWR    ON   ON
M MEM 00 00  5 XP UD (255)TB  4 00 00  TB  5 7E 7E             CPU   RUN  RUN
L LOG 7E 7E  6 YP LD (  0)TB  8 7E 7E  TB  9 30 30             STAT  NRM  NRM
I DISC30 30  7 YP UD (255)TB 12 00 00  TB 13 FF FF             ADSET DIS  DIS
S ｼｪﾙ 00 00  8 SPL-A (  0)TB 16 00 00  TB 17 FF FF             HV-L ON 0 ON 1
Q 終了00 00  9 SPU-A (255)TB 20 00 00  TB 21 00 00             VMON 1054 1109V
B 戻る00 00    SP -B (  0)TB 24 00 00  TB 25 00 00             HV-H ON 7 ON 7
TB 26 00 00    SP -C (  0)TB 28 00 00  TB 29 FF FF             VMON 8000 7937V
TB 30 00 00    SP PH(   0)TB 32 00 00  TB 33 FF FF             IMON 5.0  5.0uA
TB 34 FF FF  X X 中心(TBL)TB 36 FF FF  TB 37 FF FF             TEMP 27.0 26.6C
TB 38 00 00  Y Y 中心(TBL)TB 40 00 00  TB 41 00 00             -- RBM ON 15.7C
TB 42 00 00  E 設定終了   TB 44 00 00  TB 45 00 00             FLG -G OF -S OF
TB 46 00 00  B 戻る       TB 48 00 00  TB 49 00 00             MANUAL OF    OF
                                                                 ID:0 PH:228
                                                                XP:8D YP:78
                                                                RT:0C SP:00
                                                                    TIM:000
                                                                91/12/12
                                                               16:10:22.838
```

図 3.8　DISC メニュー画面。RT LD の設定をしているところ

[ESC] [I] ディスクリ機能

通常はハードやオンボードソフトでかけられる各種のディスクリを **PH** の側でかけるということができる。この機能は、オンボードソフトの試験や簡単なデータ解析をするのに使われる。ディスクリの設定は、メインメニュの `I DISC` で行なう。図 3.8 は、GIS-2 のディスクリを設定している時の画面の様子である。メニューの一番上の `D DISCRI OFF` を ON にしないとディスクリが有効にならないので注意。また、X/Y の中心位置は 0 ∼ 255 の値が設定されていればその値が、それ以外の値ならばブロックテーブルの値が使われる。

[ESC] [S] シェルエスケープ、[ESC] [Q] 終了

起動の説明をしたところで書いたように、メインメニューの `Q 終了` を選べば **PH** を終了することができる。完全に **PH** を終了せず、一時的に MS-DOS のコマンドラインに戻りたい時は、メインメニューの `S シェル` を使う。これを選べば、子プロセスとして `COMMAND.COM`[29]が起動される。ちょっとデータをセーブするディレクトリを変えたい時などに使えるだろう。もう一度 **PH** に戻るには、コマンドラインで `EXIT` と入力する。

[GRPH] + [RET] 画面のハードコピー

PH は、表示の高速化のためにグラフィック画面とテキスト画面を混在させたり、カラーパレットを変更[30]したり、グラフィック画面の表示を禁止したりする場合があるので、外部のプログラムできれいに画面のハードコピーをとるのは難しい。そこで、[GRPH] + [RET] キーを押すことで、画面のイメージを 8 色のビットマップ形式でファイルに落とせるようになっている。**PH** の実行中いつでも、[GRPH] + [RET] キーを押すと、ピッと音がして画面のイメージのファイルへの書き込みが始まる。もう一度ピッと鳴ったら終了である。ファイルの名前は **PH** によって決められ、`HCOPY.nnn`[31] となる。ファイルの大きさは、96000 byte である。このファイルの表示は、別のプログラム `DFILE.EXE` で行なえる。この節で使われている図も、こうやってとられたものである。

---

[29] 実際は、環境変数 `COMSPEC` に設定されている実行ファイル。

[30] カラーコードと表示色との対応を変えること。

[31] nnn は、3 桁の数字。000 から 999 まで順に増えていく。

HVL の上限値の指定

GIS の HVL[32] は、上限値が 1400V となっているが、開発中には「ようこう[33]」の **HXT**[34]用に開発された上限値 1250V の高圧電源を使用することもあった。そのため、HVL の上限値を環境変数によって変えられるようになっている。GIS-2 用の HVL の上限値は環境変数 `PHHVL2`、GIS-3 用の HVL の上限値は環境変数 `PHHVL3` で指定する。それらの環境変数に上限値が設定してあればその値が、してなければ 1400V が上限値として使われる。例えば MS-DOS のコマンドラインで、`SET PHHVL2=1250` を実行すれば、GIS-2 の HVL の上限値を 1250V にできる。

3.4.7 プログラムについて

プログラムは C 言語 と アセンブラで書かれており、コンパイルおよびアセンブルにはそれぞれ Borland 社の Turbo C++ Version 1.01 と Turbo Assembler Version 2.0 を使用している。Mircosoft 社の C コンパイラでも一応コンパイルを行なえるが、一部動作のおかしいところが見られる。その他の開発ツールとしては、Turbo Debugger、Borland MAKE などを重宝した。衛星テレメータファイル用、チェックボックス用などの作りわけは、`MAKEFILE`[35]の中に書かれているコンパイルオプションを書き換えることで行なえる。

アセンブラで書かれている部分は、画面の表示など高速な処理が要求されるところや、チェックボックスや実験回路からのフレームデータの取得などのハードウェア周りで、C の中から C の関数として呼び出して使っている。これらの低水準ルーチンをうまく置き換えられれば他の機種に移植を行なうのも決して無理ではないと思われるが、PC-9801 と同等なハードウェアスペック[36]が最低限必要だろう。図 3.9 に大まかなフローチャートを載せるので、内部の処理の流れを知りたい人は参考にして欲しい。

3.5 ワークステーション版 QL ソフト $\cdots$ 付録 G を参照

3.6 QL ソフトの使用例

この節では、QL ソフトが実際に使われた試験や較正実験のうちのいくつかについて構成図や配線図を中心に紹介する。いずれもかなり大がかりなもので、システム全体のうち QL ソフトが占める部分は一部でしかないが、**GIS** につながる重要な位置にあることは間違いない。なお論文提出者は、いずれの試験や実験にもセットアップの段階から解析に至るまで大いに参加していることを付記しておく。

3.6.1 ASTRO-D 衛星試験

ASTRO-D の衛星試験[37]は、1991 年の 10 月から 12 月に第一次噛み合わせ試験 (通称 1 噛み)、1992 年の 6 月から 12 月に総合動作試験が行なわれている。QL ソフトは 1 噛みの終りの段階でパソコン版、ワークステーション版ともにほぼ今の形に近いものができており、両方の試験で QL

---

[32] 位置検出型フォトマル (ISPC) にかけられる高圧電圧。

[33] 「ひのとり」(1980 年打ち上げ) に続いて、1991 年 8 月に宇宙研が打ち上げた太陽 X 線観測衛星。

[34] Hard X-ray Telescope の略で、すだれコリメータを使用して硬 X 線のイメージングが行なえる。検出器には NaI シンチレータと PMT が使われており、その HV 電源を明星電気が開発した。

[35] コンパイルの手順やソースファイルの依存関係が書かれているファイルで、`MAKE` コマンドはこれを参照して実行ファイルを作成する。

[36] 主に画面まわりで、640 × 400 ドット 8 色フルカラーのグラフィック、カラーパレットの制御、高速な文字列の表示など。

[37] 衛星全体を組み上げた状態で行なう試験という意。

[ESC]	メインメニュー
[SHIFT]+[Fn]	サブメニュー

[SHIFT]+[F1]	**GIS** コマンドメニュー
[SHIFT]+[F2]	CPU コマンドメニュー
[SHIFT]+[F3]	GHV コマンドメニュー
[SHIFT]+[F4]	**RBM** コマンドメニュー
[SHIFT]+[F5]	ペンレコーダメニュー
[SHIFT]+[F6]	プログラムロードコマンドの起動
[SHIFT]+[F7]	メモリチェックコマンドの起動

[Fn]	画面の切替

	別の画面の時	既にその画面の時
[F1]	ビットマップ画面の表示	何もしない
[F2]	ブロックダンプの表示	何もしない
[F3]	フレームダンプの表示	ダンプするフレームの変更
[F4]	モニタカウント画面の表示	GIS 2/3 の変更
[F5]	RBM 画面の表示	何もしない
[F6]	XY 画面の表示	GIS 2/3 の変更
[F7]	スペクトル画面の表示	GIS 2/3 の変更
[F8]	相関図画面の表示	GIS 2/3 の変更
[F9]	アノード画面の表示	GIS 2/3 の変更
[F10]	ブロックテーブルの表示	何もしない

[RET]	セーブ

[F1]	ビットマップ	全画面セーブ (スペクトル、画像、ステータス)
[F3]	ブロックダンプ	テキスト形式フレームセーブ
[F6]	XY 画面	PHA 形式 PH/XP/YP/RT/SP のセーブ
[F7]	スペクトル画面	PHA 形式 PH/XP/YP/RT/SP のセーブ
[F8]	相関図画面	PHA 形式 PH/XP/YP/RT/SP のセーブ
[F9]	アノードモニタ	gi 形式 PCAL 生データセーブ
[F9]	アノードスペクトル	PHA 形式アノードスペクトルセーブ
[F10]	ブロックテーブル	ブロックテーブルのセーブ / ロード

[カーソルキー]	カーソルの移動。[SHIFT] で加速。([F6]、[F7]、[F8] の画面のみ)
[HOME]	画面、スペクトルのクリア
[カナ]	カナロックしている間、データの取込みを停止する。
[スペース]	データを 1 フレームずつ取り込む。([カナ] と同時に使用)
[GRPH]+[RET]	画面のハードコピー
[SHIFT]+[HOME]	裏画面 ([F9] アノード画面のみ)
[CTRL]+[カーソルキー]	縦軸、横軸の切り替え ([F8] の画面のみ)
([0]–[9], [A]–[F], [X]) [RET]	ディスクリート、ブロックコマンドの実行

表 3.3　**PH** のキー操作一覧

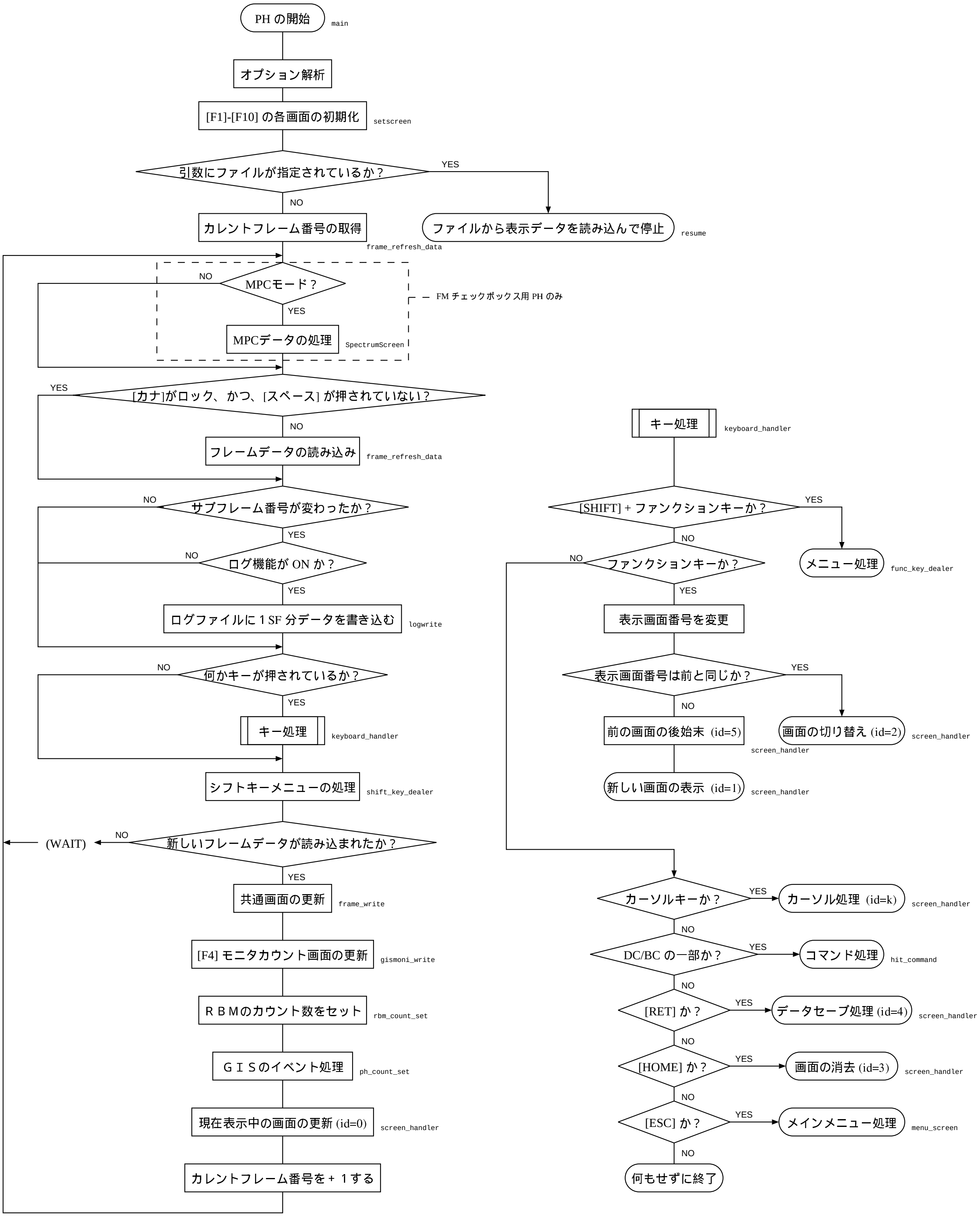


図 3.9　PH のフローチャート。枠の横にある小さな文字列は処理に対応する C の関数名。

`PHDATA`	全画面セーブ、(アノード) スペクトルセーブのファイルを作るディレクトリ
`PHPCAL`	PCAL 生データセーブのファイルを作るディレクトリ
`PHLOG`	ログファイルを作る / 読むディレクトリ
`PHHVL2`	GIS-2 の HVL の上限値
`PHHVL3`	GIS-3 の HVL の上限値
`ASTROD_ROOT`	衛星テレメータファイルがある位置を指定
`PATH`	`PRG-FM.EXE`、 `RMCHK.EXE` のサーチパス
`COMSPEC`	`COMMAND.COM` のフルパス名

表 3.4　**PH** の参照する環境変数一覧
ディレクトリ名は最後に ¥ をつける

`-log`	ログ機能を ON にして QL を開始する (標準では OFF)
`-dago`	起動後、ペンレコーダ出力のポートを初期化する

表 3.5　**PH** のオプション一覧

ソフトが用いられた。試験は宇宙研の飛翔体環境試験棟 (C 棟) のクリーンルーム内に衛星がおかれ、それをチェックアウト室の中におかれた端末やワークステーション、パソコンでモニタするという形で行なわれる。システムの概略図は 3.3 で書いたものと基本的に一緒であるが、一応 図 3.10にざっとした物の配置を書いておく。

3.6.2　GIS 単体熱真空試験

熱真空試験とは真空中で $-20°\mathrm{C} \sim 40°\mathrm{C}$ 程度の温度サイクルをかけて 2 週間程度の連続運転を行なうという苛酷な試験で、 **GIS** が単体で行なう試験としては最も大がかりなものである。 FM の GIS-E の熱真空試験は 1992 年 8 月 7 日から 8 月 17 日の間、 FM センサの熱真空試験は 同年 11 月 21 日から 12 月 7 日の間に、牧島研究室のみならず、宇宙研の X 線グループの多くの学生の協力を得て実施された。その間 **PH** は相当数の人に使用されたわけで、操作ミスによる誤動作を防ぐためにエラー処理などが強化された。また、ログ機能が付けられたのも熱真空試験での全データを残すためであった。

熱真空試験は、宇宙研の特殊実験棟 (D 棟) 4F の熱真空試験室で行なわれた。図 3.11 に試験中の物の配置や、配線の様子を示す。図にあるように、チェックボックスから送られてくるフレームデータ以外にもさまざまなデータが記録されている。

3.6.3　大気中 GIS 較正実験

3.6.4　XRT と GIS の組み合わせ実験

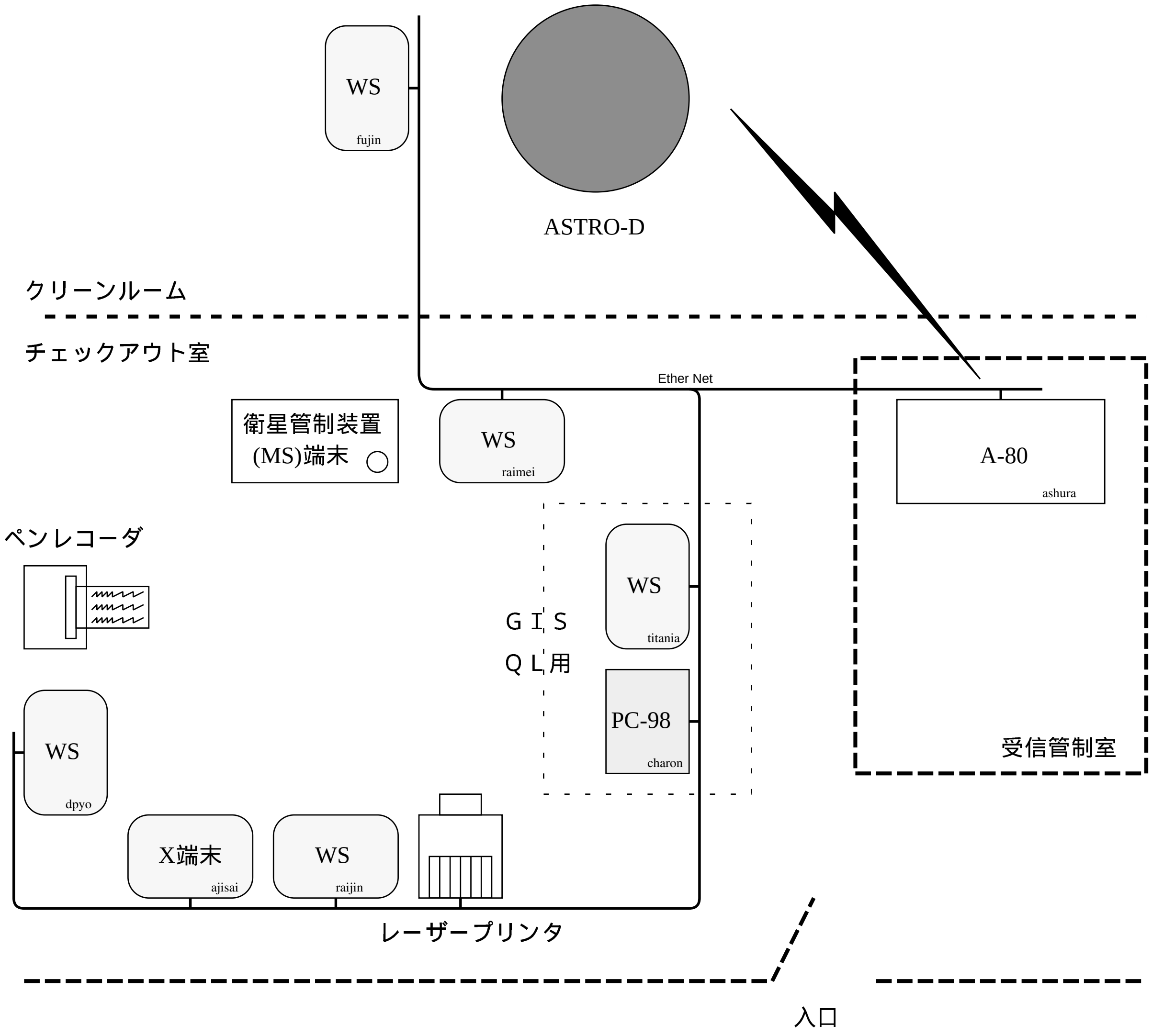


図 3.10　総合動作試験でのワークステーション (WS)、パソコン (PC-98) の配置の様子

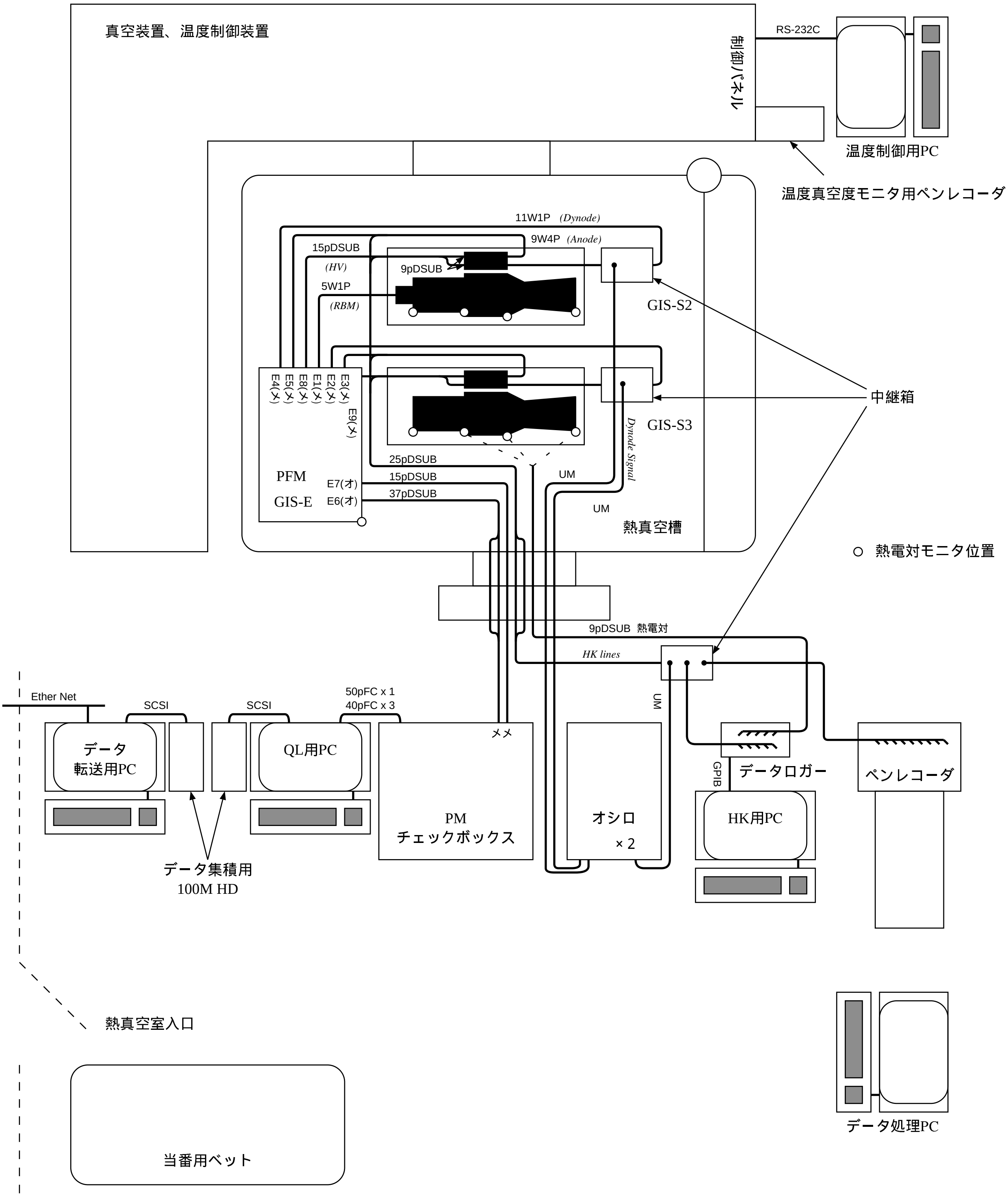


図 3.11　**GIS** FM センサの熱真空試験の配置図

第 4 章

GIS 電子回路部 (GIS-E) の較正

GIS-E は **GIS** の電子回路部として、次のような働きをする。

- **GIS** センサー部 (GIS-S2、 GIS-S3) からの X 線信号を処理し、デジタル信号として衛星の DP(→3.3.1 P.20) へ送り出す。
- コマンドを受け付け、 **GIS** センサー部の高圧電源やプリアンプを制御する。
- **RBM**[1]センサの信号を処理し、放射線帯警報の発令や解除を行なう。
- **GIS**、 **RBM** センサに電源を供給する。

中でも X 線信号の処理系は、ハードワイヤによる部分 (信号増幅、 A/D 変換など) と、 CPU を用いた部分 (X 線入射位置の計算、 PH モードでの出力データの編集など) に分けられ、複雑かつ重要な役割を果たす。この章では特に、ハードワイヤによる X 線信号処理に的を絞って GIS-E の性能を評価する。

4.1 GIS-E の構成

GIS-E は 220 mm × 300 mm のプリント板 6 枚で出来ており、図 4.1 のように連結されている。各基板の機能は次の通り。

INTF 基板 (インターフェイス基板) GIS-E 全体の制御を行なうとともに、外部機器とのインターフェイスをもつ。 DIST からは電源をもらい、 TCU からはコマンドを受信し解読する。 DP からは衛星のタイミング信号をもらい、観測データなどを返す。 3.3.1 も参照。

PSA2、 PSA3 基板 (ハードワイヤ処理基板) **GIS** センサ部からのアナログパルスをハードワイヤで処理し、 A/D 変換によりデジタル信号を生成する。 PSA2、 PSA3 は同一で、それぞれ GIS-S2、 GIS-S3 を受け持つ。

MPU2、 MPU3 基板 (CPU 基板) CPU まわりの基板で、 MPU2 と MPU3 はそれぞれ CPU2 と CPU3 を受け持つ。 CPU 自身、周辺回路、 RAM などを搭載する。

RBM 基板 **RBM** センサの信号処理とカウント集積、放射線帯警報の発令、解除などを行なう。また、 PSA 基板で行なう処理の一部[2]も担当する。

GIS-E での X 線信号処理の流れは 図 4.2 のようになっており、以下の項で、流れに沿って順に詳しく説明をする。

---

[1] Radiation Belt Monitor

[2] RT ディスクリ、PH の UD HIT(Upper Discri Hit) は、この基板上で判定される。

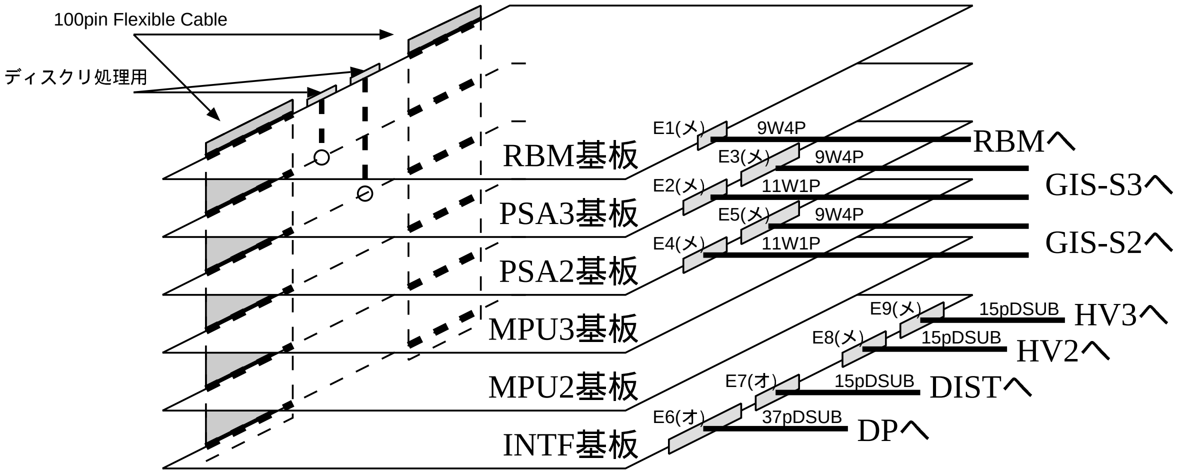


図 4.1　GIS-E の基板構成

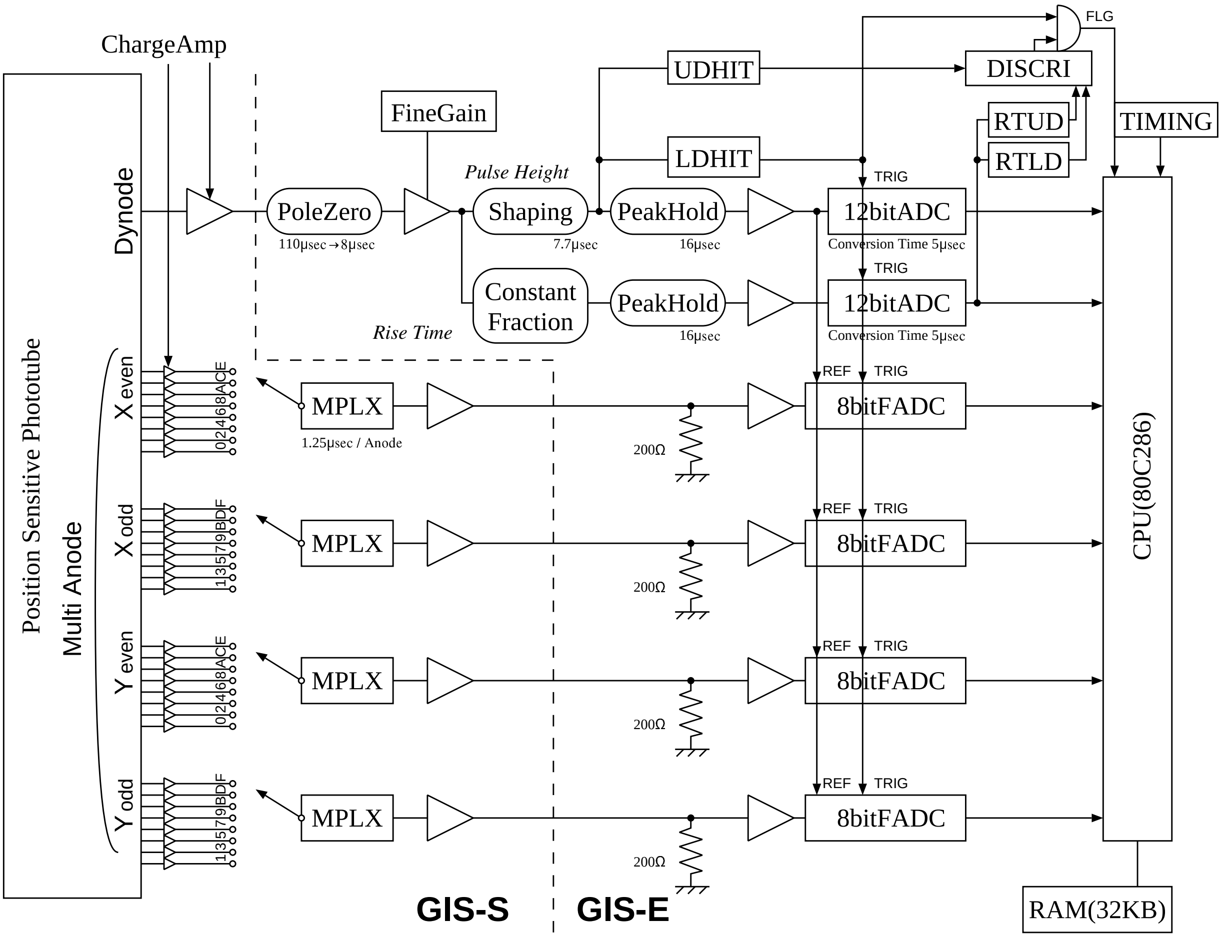


図 4.2　X 線信号処理回路の流れ

4.1.1 PH 計測系

X 線のエネルギースペクトル計測のためには、フォトチューブに入射する紫外線パルスの光量を精度良く測る必要がある。この光量の情報は、フォトチューブの最終 (第 10) ダイノードからの正極性のパルスの波高、PH(Pulse Height) から得られる。**GIS** のセンサー部にはダイノード用プリアンプが付いており、回路図は 図 4.3 のようになっている。このプリアンプは「てんま」で使われたものと同じもので、トランジスタを用いた時定数 110 μsec のチャージアンプである。プリアンプ出力後の波形は、約 7V の DC オフセットがついた、図 4.4 のような負極性の形をしており、これが同軸ケーブル (11W1P) を通して GIS-E の PSA 基板に渡される。

PSA 基板に入ったダイノード信号は、まず最初に図 4.5 のようなポールゼロキャンセル回路を通って時定数を 100 μsec から 8 μsec に直される。この回路は後から付加されたものであるが、これによって信号のパイルアップによるエネルギー分解能の悪化や、先行する信号の沈み込みの影響で RT 計測が不正確になる問題 (図 4.6) が改善された。

次にファインゲイン調整のための可変ゲインアンプを通って、PH 計測系と次項で述べる RT 計測系の 2 つに分岐する。PH 計測系は、その後、積分時間 7.7 μsec の整形回路を通り、LD(Lower Discri) をヒットする。LD をヒットして初めてセンサーから信号が来たと認められ、ADC[3]が動作する。ここでは PH-UD(Upper Discri) をヒットしたかどうかも調べられるが、その場合の処理は 4.1.5 のところを参照。PH-UD は固定値で、ADC の出力チャンネルにして約 1000 ch である。

LD がヒットされると、次のピークホールド回路が動作し LD HIT から 16 μsec の間、パルスの最大値が保持される。ピークホールドされた信号はさらにバッファアンプを通って 12bit の ADC AD7672 に入る。ADC は LD HIT から 9.6 μsec 後に変換を開始し、5 μsec でデジタル信号への変換を完了する。その上位 10bit が PH となり、ハードディスクリ (PH-UD、RT-LD、RT-UD のこと) にかからなければ CPU に取り込まれて詳細なソフト処理を受ける。その結果望ましいイベントと判断されればフレームフォーマットに編集され、テレメトリに出力される[4]。

4.1.2 RT 計測系

分岐した他方のダイノード信号は、4 μsec の遅延素子を用いた 10% と 75% の constat fraction 回路に入り、パルスの立ち上がり時間に比例した電圧パルスに変換される。図 4.7 は constant fraction 回路の原理を示したものである。LD HIT が発生するまでは、10% の信号には約 160 mV のオフセットが与えられており、雑音によって constant fraction 回路が働くのを禁止している。こうやって電圧に変換された立ち上がり時間の情報は、PH 測定系と全く同じピークホールド回路、バッファアンプ、ADC を通ってデジタル信号に変換される。変換のタイミング信号も、PH 測定系と全く同じものが使われる。RT の値には ADC の出力した 12bit のデジタル信号の上位 8 bit が使われる。RT は RT-LD、RT-UD[5] とデジタル値で比較され、RT-LD $\leq$ RT[6] $\leq$ RT-UD となっているか調べられる。そうであれば O.K. で、前項で述べた処理に続く。そうでなければ、バックグラウンドとして除去される。詳しくは 4.1.5 を参照。

---

[3] Analog to Digital Converter

[4] PH モードの場合。PCAL モードや、MPC モードでは、ハードワイヤで出力される。

[5] **GIS** のブロックコマンドで指定する。

[6] RT のアンダーフローは 0 に、オーバーフローは 1 に押え込まれる。従って RT-LD = 0、RT-UD = 255 と設定すれば常に O.K. と判断される。

図 4.3　ダイノードプリアンプの回路図。カッコ内の数値は直流オフセット値

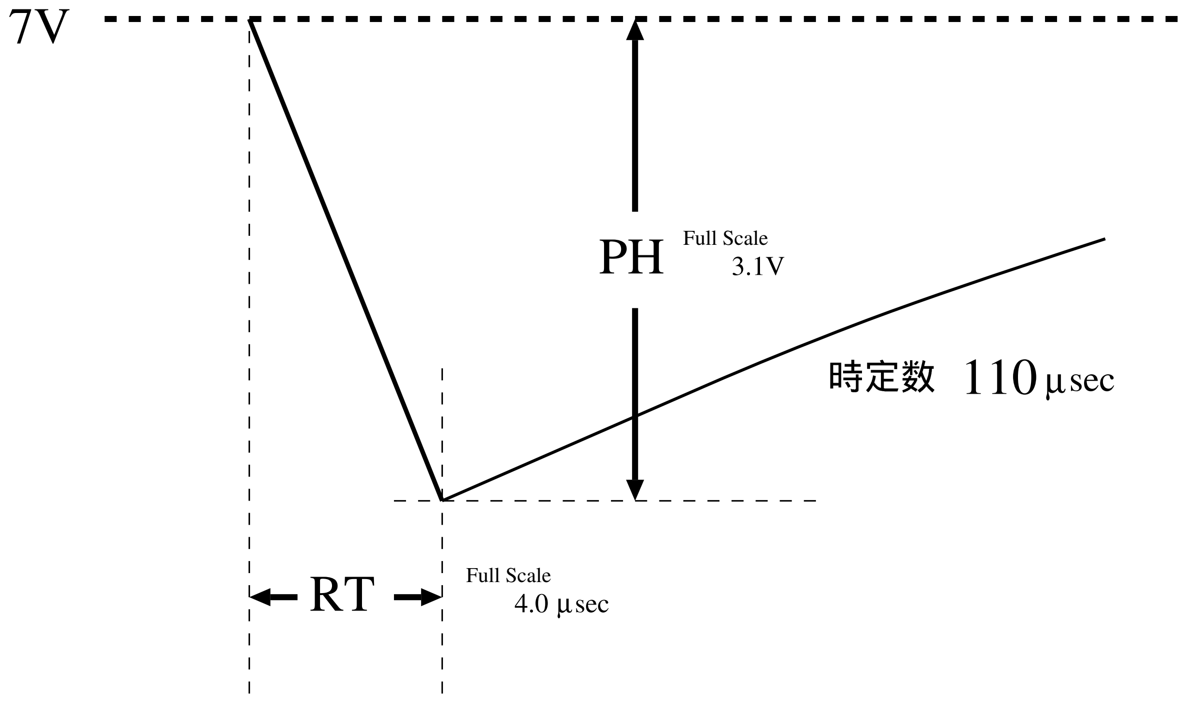


図 4.4　GIS-S のダイノード出力波形

図 4.5　ポールゼロキャンセル回路

左は、ポールゼロキャンセルを行なう前の回路。右は、ポールゼロキャンセルを行なっている現在の回路。

図 4.6　ポールゼロキャンセル回路を付加する前後での PH-RT 相関図の様子

横軸が PH、縦軸が RT。上がポールゼロキャンセル回路をつける前で、RT のメインピークの下に RT の短いイベントが見られる。**GIS** のセンサに ^{55}Fe の放射線源を当てて、711 c/s の信号を入力している。

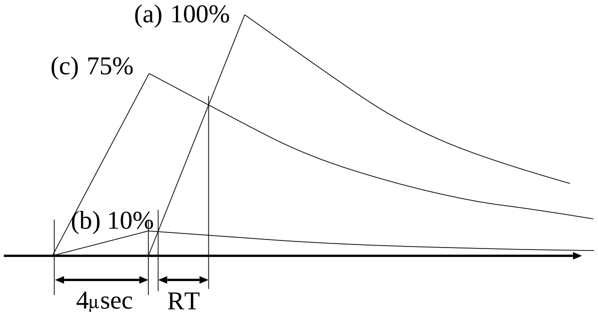


図 4.7　constant fraction 回路の原理

遅延素子で 4 μsec 遅らせた信号 (a) と、10%、75% に縮めた信号 (b)、(c) をそれぞれコンパレータで比較する。(a) と (b) が交わった時間から (a) と (c) が交わった時間までが RT で、その時間を定電流回路とコンデンサを用いて電圧に変換する。

4.1.3　アノード計測系

X 線の入射位置は、位置検出型フォトチューブのマルチアノードからのパルスの波高分布から得られる。**GIS** が使用する位置検出型フォトチューブは、X 方向、Y 方向それぞれに 0 ～ F の 16 本のアノードを持っており、8 本ずつ Xeven、Xodd、Yeven、Yodd の 4 系統に分けられている。各 8 本のアノード信号は、センサーについているプリアンプ基板上で時定数 110 μsec のチャージアンプで増幅された後、3bit のアナログスイッチ (マルチプレクサ) HI3-508A5 を用いて 1.25 μsec の間隔で切り替えられ、センサーから GIS-E へは 1 本の同軸に乗せて送られる。アノードの切り替えは LD HIT から 8 μsec 後から始まるようになっていて、通常は最も番号の小さいアノード (X0、X1、Y0、Y1) が選択されている。

マルチプレクスされた 4 系統のアノード信号は、GIS-E の PSA 基板に入ってまず最初に 200 Ω の抵抗でターミネートされる。この抵抗は、第 1 次噛み合わせ試験の後に付けられたものであるが、これがないと、センサーと GIS-E を繋ぐケーブルが長い時にマッチング不良をおこしてアノード出力分布に凸凹の固定パターンが加わってしまう。その後、信号はバッファアンプ[7]を通って、4 個の 8bit フラッシュ ADC(MP7684) に入る。それぞれのフラッシュ ADC は、アノード切り替え信号と同期したサンプリングを行ない、8 個の波高を順番にデジタル信号に変換する。プリアンプの時定数は 110 μsec と長めにとってはあるが、それでもマルチプレクサの切り替え時間の間に信号の減衰が起きる。これは CPU で位置決めを行なう時に補正可能である。

フラッシュ ADC のリファレンス電圧部分は、図 4.8 のようになっており、ピークホールド後のダイノード信号の 1 次式で表される電圧が入るようになっている。こうすることによって、低いアノード信号レベルに対しても ADC の量子誤差が発生しない[8]ように工夫されている。位置決めに必要な情報は、マルチアノードの波高分布の形だけなので、このようなことが可能になる。ただし、ファインゲインを下げるとリファレンス電圧も下がるため、ファインゲインを下げ過ぎるとアノード信号がリファレンス電圧を上回ってしまい、正常な位置決めが出来なくなってしまうという副作用もある。これは、運用時に気をつけることで対処する。

---

[7] 実際はトランジスタによるエミッタフォロワ。

[8] アノード信号が小さい時はダイノード信号も小さいので、アノード信号の A/D 変換後のデジタル値 (X Y 各 16 本のうちの最大値) は、いつも同じような値になる。プリアンプ出力後のアナログ値では、ダイノード信号とアノード信号 (のうち、最大のもの) の波高の比はおおよそ 1.2 : 1 (ファインゲイン 32 で、中心に X 線が入射した時。端に当たった時は最大 30% 程度アノード信号が大きくなる) で、A/D 変換後の値は 150ch ぐらいになる。

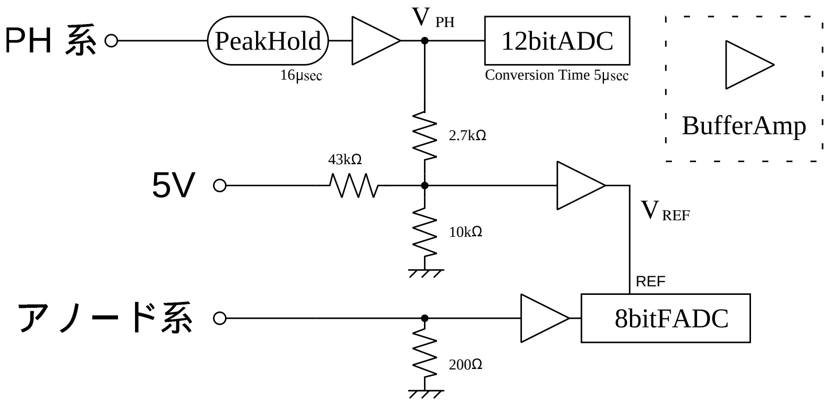


図 4.8 アノード用フラッシュ ADC のリファレンス電圧

PH 用 ADC に入る電圧を $V_{\rm PH}$[mV]、アノード用 FADC のリファレンスに入る電圧を $V_{\rm REF}$[mV] とすると、$V_{\rm REF} = 0.750V_{\rm PH} + 236$ という関係にある。

また、図 4.9 に、PH 測定系、RT 測定系も含めた ADC まわりのタイミングチャートを載せる。ピークホールドを行なう時間がフラッシュ ADC のサンプリングが行なわれる時間に対して 1 μsec 程度短く設定されているが、実際にはピークホールド回路の遅れ[9]により、特に問題は生じない。

4.1.4 TIM 計測系

X 線の入射時刻は、フレームに同期したクロックで測定されている。実際の時刻づけは、ハードディスクリがかかった後の FLG に対して行なわれており、最小時間分解能は bit High で 61 μsec、bit Medium で 488 μsec、bit Low で 1.95 msec (1 フレームの 1/512) である。カウンタの下位 10bit が TIM として使われる。

TIM で気をつけなければいけないのは、X 線が入射した時刻とテレメトリに出力される時刻には時間差があり、テレメトリに出てくる TIM は必ずしもデータが出力されたフレームの先頭から数えた時刻にはなっていないということである。具体的に書けば、PH モードでは 1 フレームに最大 8 つのデータを出力できるが、その 1 番めに TIM=950(TIM 10bit 出力の時) というデータがあったとすれば、それは 1 つ前のフレームの先頭から $61 \times (950 - 512)/512$ μsec 後 (bit-rate High の時) に来たイベントなのである。なぜなら、フレームの 1 番目のデータはフレームの先頭から 244×4 μsec [10]以内に出力されねばならず、そのフレーム内に来たイベントがこの位置に出力されるためは $\mathrm{TIM} \leq 16$ が必要条件となるからである。このような判断は、解析ソフト側で行なう必要がある。

4.1.5 ハードディスクリ系

PH-UD を越えたイベント、および RT が RT-LD から RT-UD の範囲にないイベントは、ハードで除去される。ハードで除去されたイベント数はモニタ項目 L0、L2、H0、H1、H2(図 4.10) としてスケーラで計測される。ディスクリの判定は RBM 基板上で行なわれるが、判定後の処理とし

---

[9] 1993 年 1 月 29 日に、明星電気の田口氏が PFM の GIS-E で調べたところ、PH の ADC の入口のところで測って、ピークホールドが解除されるのは CHG が下がってから 1.5 μsec 後で、その後は ~ 3 μsec 程度の時定数で減衰していく。

[10] bit-rate High では、1 ワードは 244 μsec で、フレームの 1 番目のデータは 4 ワード目に位置している。

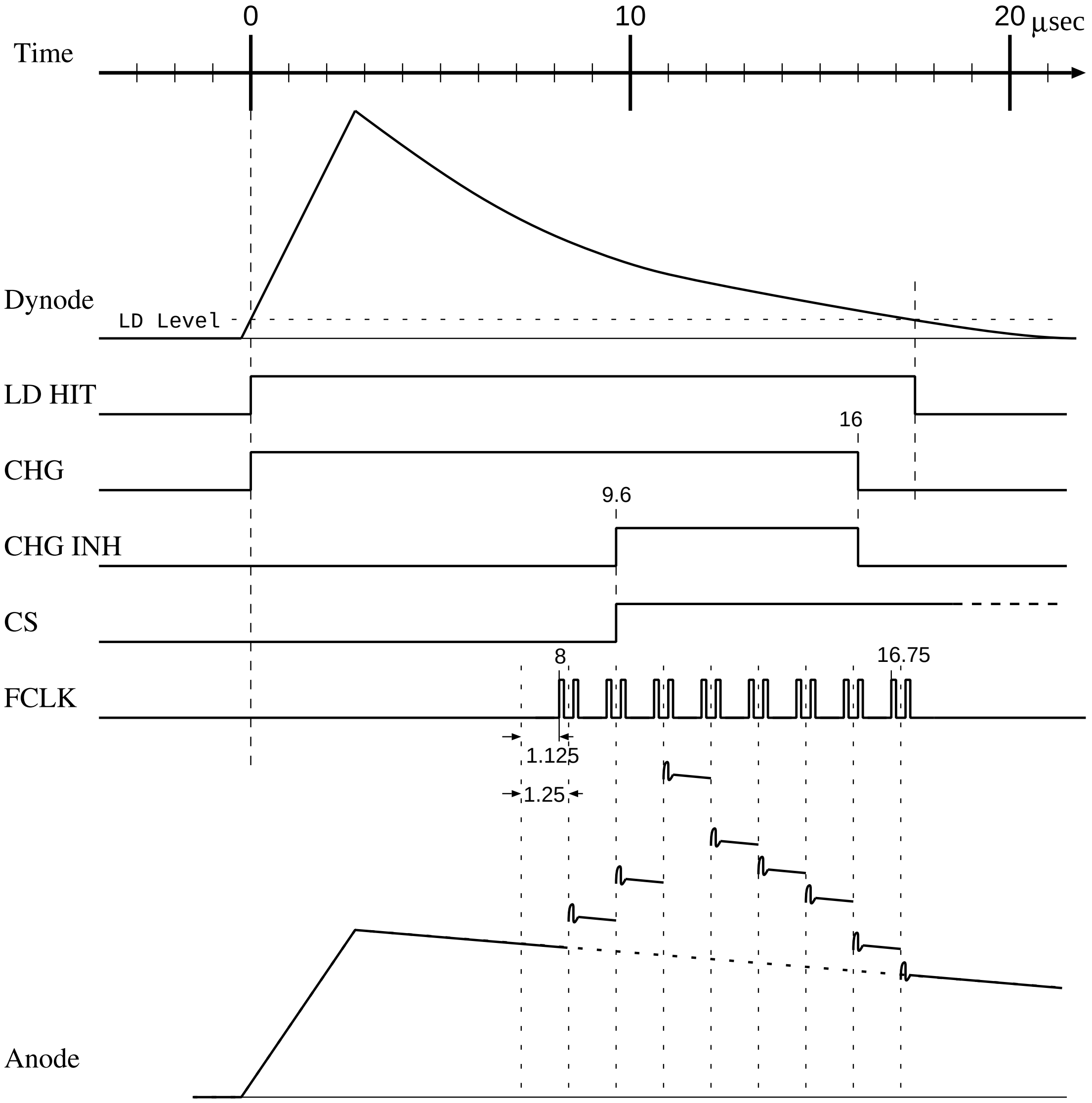


図4.9　ADCまわりのタイミングチャート

1番上がダイノード信号で、ポールゼロキャンセル回路後の時定数が短くなった後の波形が書かれている。

2番目がLD HIT信号で、LDの値よりもダイノード信号が大きければHになる。

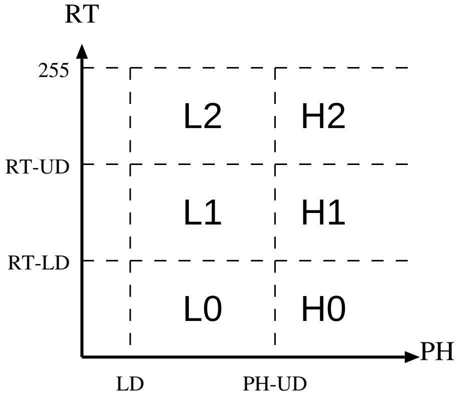
3番目がCHGで、LD HIT信号から16 μsec続く。この信号がHの間、ピークホールド回路が動作する。

4番目がCHG INHで、LD HITから9.6 μsec後にHになり、CHGと同時にLになる。これがHの間は、ピークホールド回路への信号入力が禁止される。

5番目がCS(chip select)で、PHとRT用の12bit ADCに入っている。LD HITから9.6 μsec後にLからHに変化し、その立ち上がり端で、A/D変換が始まる。

6番目がFCLKで、アノード用のフラッシュADCのサンプリングクロックである。2パルス1セットで、最初のパルスでA/D変換の開始、後のパルスでデジタル値が出力される。LD HITの8 μsec後からサンプリングが開始され、1.25 μsec間隔で8回A/D変換が行なわれる。

7番目がフラッシュADCでA/D変換されるアノード信号で、8本のアノード出力がマルチプレクサによって順番に切り替えられている。マルチプレクサの切り替え時には信号にパルス的なノイズが発生する。



PH、RT 空間を左図のように 6 つの領域にわけ、各部のカウント数がモニタされる。L1 領域のイベントのみ CPU に送られ、それ以外のイベントはハードディスクリで除去される。カウント数はバックグラウンド推定の材料に使われる。

図 4.10　ハードディスクリのモニタカウント

て、X 線イベントとして認められた時は FLG[11] のセット、認められなかった時は ADC の入力を許可する各種ラッチのクリアが行なわれる。図 4.11 に、X 線イベントとして認められた場合と、認められなかった場合のそれぞれについて、タイミングチャートを載せる。不感時間は図の一番下の矢印の期間で、X 線と認められなかった時は最小 22.4 μsec[12]、X 線と認められた場合は約 100 μsec から 8 msec となる。後者の不感時間は、CPU が FLG が立った時に何をしているかによって異なり、FLG が H になるのを待っている時は 100 μsec、位置決め処理などを行なっている時は、その残りの処理時間 + 100 μsec となる。

4.1.6　結果の出力

PH モードでは、ハード処理で合格した (FLG が H になった) イベントの PH、RT、アノード出力、TIM を CPU が取り込み、詳しいソフト処理を行なう。そして、ソフト処理済みのイベントがフレームのメインデータ部に出力される。PCAL モードおよび MPC モードではソフト処理とはほとんど無関係に、ハード処理の結果がフレームに出力される。

4.2　フライト用回路と較正実験用回路の比較

GIS 較正実験には実験回路 (→3.4.1 P.24) と呼ばれる GIS-E の PSA 基板同等品を用いたデータ取り込み回路が使われているが、PSA 基板にはそれぞれ個性がありゲインやオフセットなどが少しずつ異なっている。較正実験で得られたデータをを衛星上の **GIS** に生かすためには、それらがどのように異なるのかを知っておく必要があるだろう。それをまとめたのが、この節である。

4.2.1　実験方法

実験は 1992 年 12 月 4 日、宇宙研の飛翔体環境試験棟 (C 棟)2F の小クリーンルームで行なわれた。使用したものは、信号発生器として堀井パルサー[13]、被測定物として FM の GIS-E + FM チェックボックス (→3.3.2 P.21) と三原実験回路[14]である。データ取得ソフトは、GIS-E は FM チェックボックス用 **PH**、三原実験回路は実験回路用 **PH** を使用した。実験方法としては、堀井パ

---

[11] CPU にイベントが来たことを知らせる信号線。

[12] 22.4 μsec で LD HIT が L にならない場合もあるため。

[13] 堀井氏 (明星電気の社員) が作ったもので、ダイノード 1 本、アノード 32 本について GIS-S とほぼ同等な信号を出せる。2 系と 3 系の 2 系統を切り替えて出力できる。

[14] 実験回路に使える PSA 基板同等品は M(三原)、K(小谷：宇宙研 M2)、P(PFM) 基板と呼ばれる 3 種類があり、これは M 基板を載せている。**GIS** の較正実験はほとんどが三原実験回路を用いて行なわれた。

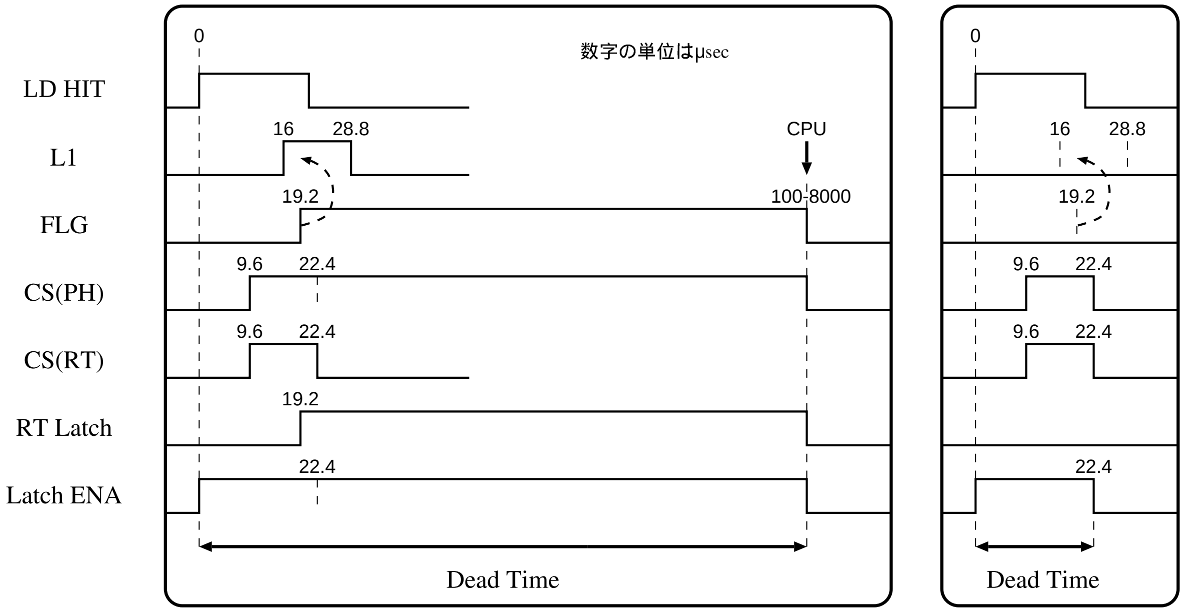


図 4.11 ハードディスクリ系のタイミングチャート

左が X 線イベントとして認められた場合、右が認められなかった場合のタイミングチャートである。各信号について上から順に説明する。

1 番上が LD HIT 信号で、全ての処理はこれをトリガとして開始される。以下は、LD HIT が H になった時間を 0 μsec として話をする。

2 番目が L1 で、X 線イベントとして認められた場合は、16 μsec から 28.8 μsec の間 H になる。判定は、RBM 基板上で行なわれる。

3 番目が FLG で、19.2 μsec の時点で L1 が H であれば H になる。CPU がデータを取り込んでクリアを行なうまで (PH モードの時) H のままである。

4 番目が PH 用 ADC の CS(chip select) で、9.6 μsec で H になる。22.4 μsec の時点で FLG が L であればそこで、そうでなければ FLG の立ち下がりで L になる。

5 番目が RT 用 ADC の CS(chip select) で、9.6 μsec から 22.4 μsec の間 H になる。

6 番目が RT Latch で、これの立ち上がりで RT のデータがラッチにセットされ、立ち下がりでクリアされる。FLG と同時に H になり、同時に L になる。

7 番目が Latch ENA で、この立ち上がりでアノード計測系が働く。LD HIT と同時に H になり、22.4 μsec の時点で FLG が L であればそこで、そうでなければ FLG の立ち下がりで L になる。

ルサーの 2 系統の出力を GIS-E の片方[15] と三原実験回路につなぎ、両方に同じ信号を入力して、出力されるデータを比較した。実験中ずっと GIS-E のファインゲインは 32 に固定した。なお、実験回路の特性は以前によく調べられている (付録 E)。

4.2.2 PH スキャン

PH 系の比較のために、オシロスコープで見て入力パルスの立ち上がり時間を 2.04 μsec に固定し、波高を 160 mV から 3000 mV まで離散的に変えていきながら PH、RT のスペクトルをファイルに記録した。そのスペクトルを解析した結果を図 4.13、図 4.14に示す。

図 4.13 を見ると PH 特性は GIS-E2、E3[16]とも良くそろっていることがわかる。三原実験回路は PH のオフセットが 13ch(0 mV が 13ch のところに対応) あることがわかっているので、GIS-E2、

---

[15] GIS-S2 につなぐ端子と S3 につなぐ端子があるため。

[16] それぞれ PSA2 基板、PSA3 基板の回路系のこと。

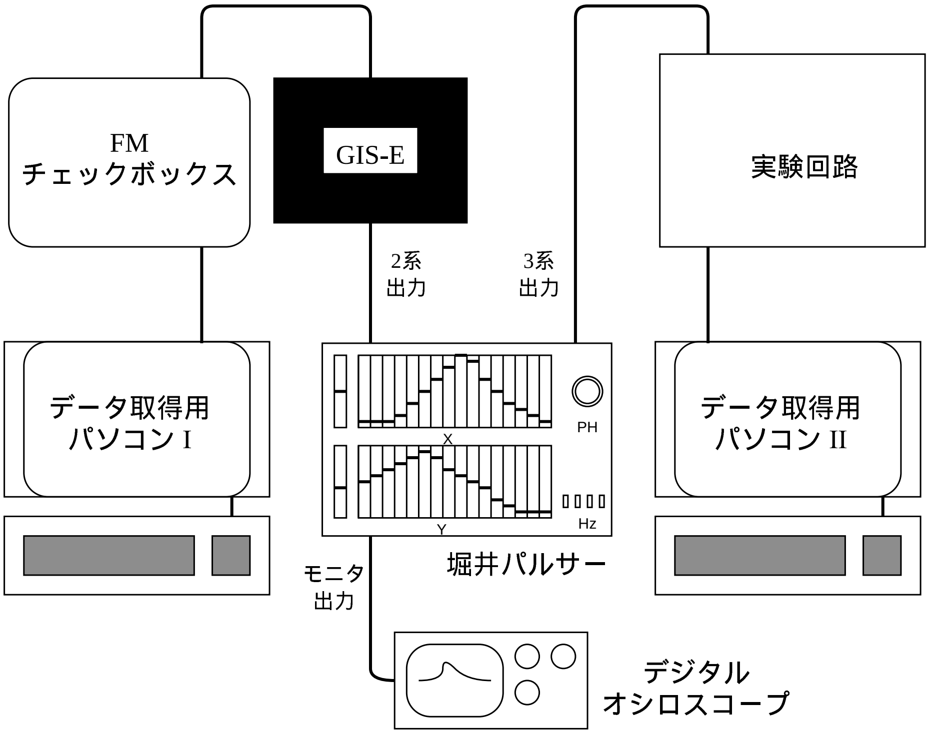
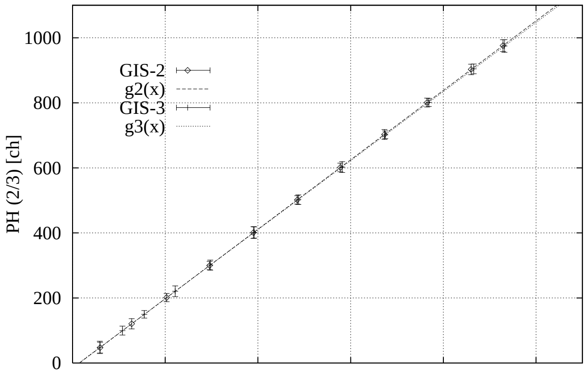


図 4.12　FM GIS-E と三原実験回路の比較実験の様子



$$_{\rm red}\chi^2(n=9)=0.04$$

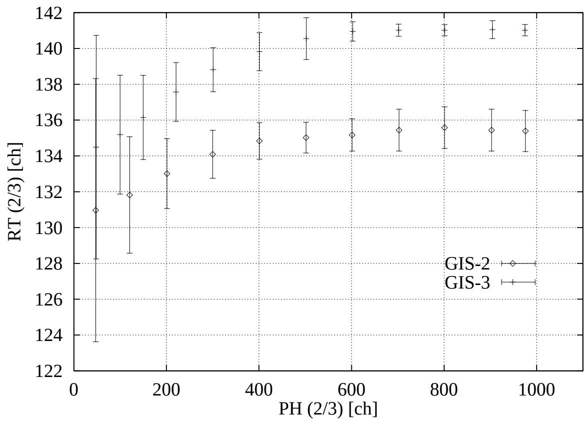
$$g2(x)=1.06806(21)x-15.95(11)$$

$$_{\rm red}\chi^2(n=10)=0.04$$

$$g3(x)=1.06143(24)x-14.59(13)$$

図 4.13　RT を固定した時の 三原実験回路の PH と GIS-E の PH の関係

横軸が三原実験回路の PH で、縦軸が GIS-E2,E3 の PH。PH の値は、スペクトルの平均値を使用した。エラーバーは PH スペクトルの標準偏差を 10 倍したものをプロットしてある。データを直線回帰した線はそれぞれ g2(x)、g3(x) のようになった。$_{\rm red}\chi^2$ およびフィットのパラメータの値と誤差 (1σ) は右式のようになった。$n=$ の値はフィットの自由度 (データの数 -2) で、1.06806(21) は、1.06806 ± 0.00021 を表す。回帰を行なう際に誤差 (データに対する重み) はつけなかった。



横軸が GIS-E2,E3 の PH で、縦軸が GIS-E2,E3 の RT。PH、RT の値は、スペクトルの平均値を使用した。エラーバーは RT スペクトルの標準偏差をプロットしてある。

図 4.14 RT を固定した時の GIS-E の PH と RT の関係

これは 1992 年 12 月 7 日に FM の GIS-S2,S3 と GIS-E を初めてつなげてとった時のデータを使っている。センサーの全面に ^{55}Fe をあて、マスクをかけて中心付近だけを選び出した。HVH を変えずに HVL をレベル 1 から 5 まで変えた時の PH と RT の関係が左のグラフで、パルサーで RT を固定して PH を変化させた時に対応する。
横軸が GIS-E2,E3 の PH で、縦軸が GIS-E2,E3 の RT。PH、RT の値は、スペクトルをガウス分布にフィットして求めた。エラーバーはフィットした時の RT スペクトルの幅 (σ) をプロットしてある。

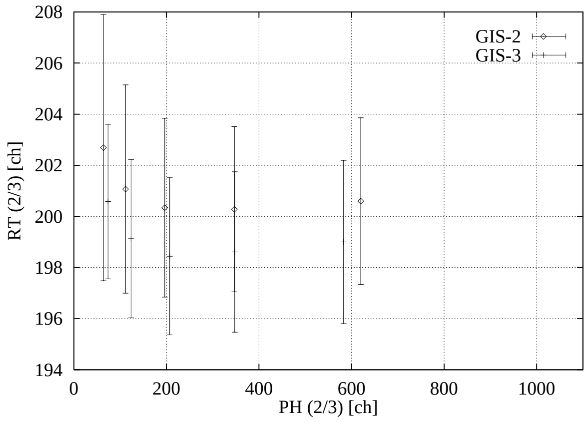


図 4.15 HVL スキャンでの GIS-E の PH と RT の関係

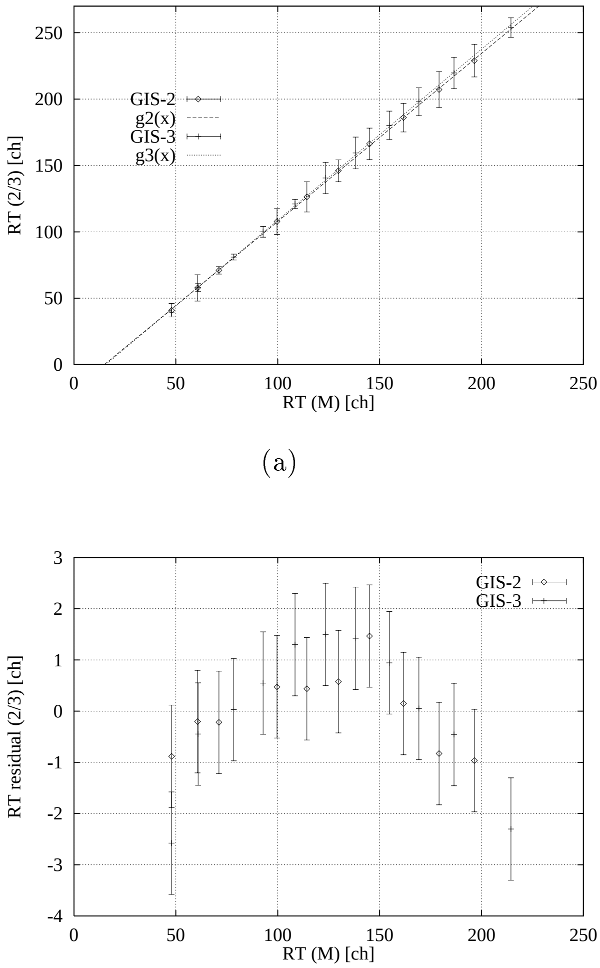
E3 のオフセットはそれぞれ -2ch、-1ch ということになるが、ほとんど 0 だと思って間違いない。

図 4.14を見ると RT が PH の小さいところで下に曲がり、RT のピークの幅もかなり太くなっているが、図 4.15に見るように実際にセンサーをつないだ場合にはこのような傾向は見えていないので、これは堀井パルサーの特性だと思われる。

4.2.3 RT スキャン

RT 系の比較のために、オシロスコープで見て入力パルスの波高を 1500 mV に固定し、立ち上がり時間を 0.640 μsec から 3.6 μsec まで離散的に変えていきながら PH、RT のスペクトルをファイルに記録した。そのスペクトルを解析した結果を図 4.16、図 4.17に示す。

図 4.17 を見ると RT の特性も GIS-E2,E3 で良くそろっている。GIS-E2 と E3 で $_{\mathrm{red}}\chi^2$ がかなり違っているが、残差を見れば特性が 120ch ぐらいで折れ曲がっているために、データの範囲が GIS-E3 の方が広いことが効いているのがわかる。PH を固定した時の PH と RT の関係も図 4.17 のように求まるが、これも堀井パルサーの特性が入っているため実際のセンサーには使えないと思われる。



(a)

$$_{\mathrm{red}}\chi^2(n=8)=0.68$$

$$g2(x)=1.2661(54)x-18.84(70)$$

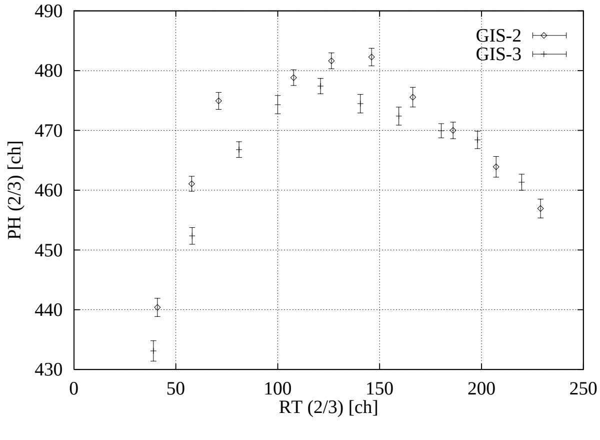
$$_{\mathrm{red}}\chi^2(n=9)=2.17$$

$$g3(x)=1.2882(87)x-20.09(12)$$

(b)

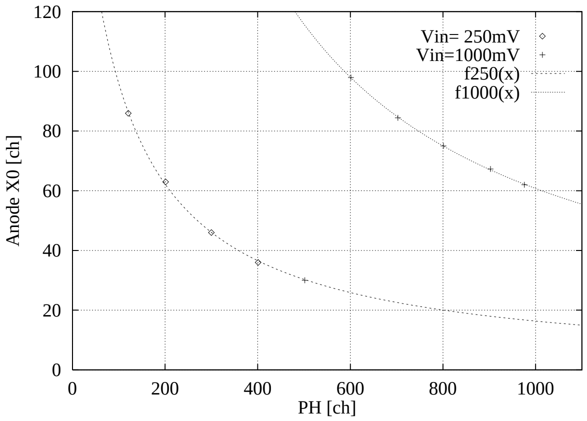
(a) は横軸が三原実験回路の RT で、縦軸が GIS-E2,E3 の RT。RT の値は、スペクトルの平均値を使用した。エラーバーは RT スペクトルの標準偏差を 10 倍したものをプロットしてある。データを直線回帰した線はそれぞれ g2(x)、g3(x) のようになった。(b) はフィットの残差をプロットしたものである。

図 4.16 PH を固定した時の 三原実験回路の RT と GIS-E の RT の関係



横軸が GIS-E2,E3 の RT で、縦軸が GIS-E2,E3 の PH。RT、PH の値は、スペクトルの平均値を使用した。エラーバーは PH スペクトルの標準偏差をプロットしてある。

図 4.17 PH を固定した時の GIS-E の PH と RT の関係



$$_{\mathrm{red}}\chi^2(n=3)=0.45$$

$$f_{250}(x)=\frac{17733(335)}{x+84.91(477)}$$

$$_{\mathrm{red}}\chi^2(n=3)=0.07$$

$$f_{1000}(x)=\frac{63958(630)}{x+52.45(762)}$$

図 4.18　V_{in} を固定した時の GIS-E2 の PH と x0 の関係

横軸が GIS-E2 の PH で、縦軸が GIS-E2 の x0。PH、x0 の値は、スペクトルの平均値を使用した。データを $y = a/(x+b)$ でフィットした線はそれぞれ $f_{250}(x)$、$f_{1000}(x)$ のようになった。$_{\mathrm{red}}\chi^2$ およびフィットのパラメータの値と誤差 (1σ) は右式のようになった。$n =$ の値はフィットの自由度 (データの数 -2) で、84.91(477)、84.91 ± 4.77 を表す。フィットを行なう際に誤差 (データに対する重み) はつけなかった。

4.2.4　アノード系

図 4.8 に書いたように、アノード用フラッシュ ADC のリファレンス電圧 $\mathrm{V_{REF}}$[mV] は、PH 用の ADC に入る電圧 $\mathrm{V_{PH}}$[mV] と

$$\mathrm{V_{REF}} = 0.750\mathrm{V_{PH}} + 236$$

という関係をもつ。また、PH 用の ADC のリファレンス電圧は 5V であるので、

$$\mathrm{PH} = 1024 \times \frac{\mathrm{V_{PH}}}{5000}$$

という関係もある。よって、アノード用フラッシュ ADC に入る電圧を $\mathrm{V_{in}}$[mV] とすれば、アノードのパルスハイト an[ch] は、

$$\mathrm{an} = 256 \times \frac{\mathrm{V_{in}}}{\mathrm{V_{REF}}} = 256 \times \frac{\mathrm{V_{in}}}{0.750\frac{5000}{1024}\mathrm{PH} + 236} = \frac{69.9\mathrm{V_{in}}}{(\mathrm{PH} + 64.4)} \tag{4.1}$$

という関係を持つはずである。そこで、この式が成立しているかどうか調べるために、PH スキャン時に V_{in} を 250 mV、あるいは 1000 mV に固定してアノードのパルスハイトのチャンネルを記録した。

GIS-E2 の X 方向 の 0 アノード (x0) の結果をグラフにプロットしたものを図 4.18に示す。データは $y = a/(x+b)$ の形の関数に良く乗っているが、$\mathrm{V}_{in} = 250$ mV(ピーク値) とした時と 1000 mV とした時で式 4.1 で 64.4 に対応する値 $\mathrm{PH}_{off} = b$ が違ってしまった。この式はアノードのオフセットを補正する際に使われるが、PH が大きい時は PH_{off} はあまり効かないので補正式には PH が小さい時に対応する $\mathrm{V}_{in} = 250$ mV の時の値を使用するべきであろう。また、69.9 に対応する値 $g = a/\mathrm{V}_{in}$ も、$\mathrm{V}_{in} = 250$ mV の時が $g = 70.93$、$\mathrm{V}_{in} = 1000$ mV の時が $g = 63.96$ となり、うまく一致しない。しかし、この差にはオシロスコープで合わせた V_{in} の電圧値が正確でなかった影響も含まれるので、それほど有意ではない。また、g には堀井パルサーの波形の減衰が効いているので (図 4.19)、本物のセンサーのアノードのオフセット補正には使えない。表 4.1 と 表 4.2 にこのように

して求めた g と PH_{off} の値をまとめる。なお、GIS-E3 では、$\mathrm{V}_{in} = 100\,\mathrm{mV}$ でもデータを取得した。

4.2.5 GIS-E と実験回路の比較実験のまとめ

FM の GIS-E は、PH 系、RT 系とも特性が良くそろっていることが確かめられた。また、アノード出力チャンネル (x0 – xf、y0 – yf) と PH からアノードのフラッシュ ADC に入る前の電圧値を計算する式が求められた。

4.3 PH のカウントレート依存性

GIS-E はダイノード信号の入口にポールゼロキャンセル回路を持っており、パルスの時定数を短くすることによって PH や RT に対するカウントレートの影響を抑える働きを持っている。しかし、それでもある程度は PH や RT の値はカウントレートに依存し、特にカウントレートが上がるにつれ PH は上昇する傾向を持っている。この節ではこの効果を測定する。

4.3.1 実験方法

実験は 1992 年 12 月 8 日、宇宙研の飛翔体環境試験棟 (C 棟)2F の小クリーンルームで行なわれた。FM の GIS-E に FM の GIS-S2、S3 を接続し、FM チェックボックスをデータ取得回路に使用して行なった。データ取得ソフトは **PH** を用いた。GIS-2、3 のうち使用したのは GIS-2 だけで、^{55}Fe と Am の線源を GIS-S2 に当て、いくつか異なったカウントレートで PH と RT のスペクトルを取得した。^{55}Fe は図 4.20 のようにフードの中に線源を差し入れて使用し、Am はセンサーの横に置いてシールド越しにガスセルに X 線を入射させた。このような方法をとったのは **GIS** の試験が全て終っており、フードを外すことが許されなかったためである。線源の強度の調整は Fe に関してはアルミホイルをかぶせることで、Am に関しては距離をとることで行なった。^{55}Fe の強度の関係で、^{55}Fe のみを当てた場合は最大 350 c/s までしかカウントレートを上げることができなかった[17]。以下の結果では、350 c/s 以上のデータは全て Am と ^{55}Fe が同時に当たっている。

また、GIS-E のデータ取得モードには PH モードを使用した。位置決めは二乗方式を使用し、位置による PH の違いをオンボードソフトで補正 (PH TUNE) させた。さらに中心からの距離が 82ch 以下のものだけを選んで、全面に X 線が当たっても PH のスペクトルのピークが鋭く出るよう調整した。ファインゲインは 32 とし、RT ディスクリはかけていない。

以上のようなセットアップで、HVH(ガスセルの高圧電源) をレベル 7(8 kV) に設定し、HVL(フォトチューブの高圧電源) をレベル 1(883V)、レベル 3(1032V)、レベル 4(1120V) とした時のデータを取った。なお、この実験には私の他にも、三原 (理研)、深沢、牧島 (東大)、大橋 (都立大) などが参加した。

4.3.2 実験結果

実験の結果は、図 4.21、図 4.22、図 4.23、図 4.24のようになった。図 4.21 を見ると、カウントレートが上がるに従って PH が上がっているのがわかる。しかし、傾きが大きいところでもせいぜい 100 c/s で 0.5% であり、**GIS** のエネルギー分解能 $\sim 8\%$ から考えると特に問題にはならないと考えられる。Am を当てるか当てないか (350 c/s 以下とそれ以上) で PH チャンネルに飛びがあるように見えるが、Am を当てると ^{55}Fe のピークに大きな連続成分がつくため (図 4.25)、その影響だと

---

[17] 実は、^{55}Fe 線源を裏返しにして使っていたことが後で判明した。

	V_{in} = 250 mV(n=3)			V_{in} = 1000 mV(n=3)		
	${}_{\rm red}\chi^2$	g	PH_{off}	${}_{\rm red}\chi^2$	g	PH_{off}
x0	0.45	70.9±1.3	84.9±4.8	0.07	64.0±0.6	52.5± 7.6
x1	0.44	70.9±1.3	84.7±4.7	0.38	65.3±1.5	64.3±17.7
x2	0.59	70.4±1.5	86.7±5.6	0.07	63.4±0.6	59.9± 7.8
x3	0.59	70.0±1.5	85.1±5.5	0.04	64.8±0.5	67.6± 6.0
x4	0.43	69.2±1.3	86.6±4.8	0.19	62.4±1.0	55.7±12.7
x5	0.50	69.3±1.4	85.5±5.2	0.23	64.8±1.2	82.2±14.7
x6	0.57	67.1±1.5	82.9±5.5	0.05	62.3±0.5	67.5± 6.9
x7	1.00	67.8±2.0	84.8±7.4	0.14	62.6±0.9	66.0±11.1
x8	0.65	67.5±1.6	87.5±6.2	0.05	60.9±0.5	59.9± 6.7
x9	0.64	67.3±1.6	85.8±6.0	0.06	62.0±0.6	72.0± 7.6
xa	0.10	66.5±0.6	87.3±2.4	0.13	61.0±0.9	76.4±11.7
xb	0.42	66.8±1.3	87.5±5.0	0.06	60.7±0.6	65.3± 7.6
xc	1.14	66.1±2.2	89.9±8.5	0.14	60.5±0.9	78.8±12.4
xd	0.78	65.2±1.8	84.9±6.8	0.07	59.1±0.6	55.2± 7.8
xe	0.46	63.9±1.4	85.6±5.3	0.15	58.8±0.9	67.3±12.2
xf	0.58	64.0±1.5	84.1±5.9	0.12	58.9±0.8	67.6±11.3
y0	0.62	71.8±1.6	87.4±5.7	0.16	64.0±0.9	54.0±11.2
y1	0.91	71.2±1.9	84.9±6.7	0.38	65.3±1.5	64.1±17.5
y2	0.48	70.6±1.4	86.7±5.0	0.09	63.6±0.7	62.2± 8.8
y3	0.54	70.2±1.5	85.3±5.3	0.10	64.3±0.7	63.0± 9.1
y4	0.64	69.6±1.6	86.4±5.9	0.17	62.6±1.0	59.5±12.0
y5	0.89	69.6±1.9	85.4±6.9	0.14	64.4±0.9	78.3±11.3
y6	0.70	68.6±1.7	87.5±6.3	0.17	61.5±1.0	58.8±12.1
y7	0.95	67.6±1.9	82.0±7.0	0.14	62.6±0.9	65.9±11.2
y8	0.36	67.0±1.2	85.0±4.5	0.11	60.6±0.8	57.6± 9.8
y9	0.97	67.6±2.0	86.5±7.4	0.06	62.3±0.6	76.3± 7.5
ya	0.45	67.8±1.4	90.4±5.3	0.14	61.0±0.9	76.1±11.8
yb	0.53	67.9±1.5	90.5±5.7	0.06	60.7±0.6	65.2± 7.4
yc	0.86	65.7±1.9	87.8±7.3	0.09	59.6±0.7	68.7± 9.6
yd	0.71	64.9±1.7	84.0±6.5	0.11	60.1±0.8	72.8±10.6
ye	0.39	64.8±1.3	87.6±5.0	0.10	58.4±0.8	63.2±10.2
yf	0.71	64.9±1.7	86.2±6.6	0.17	58.9±1.0	68.5±13.1

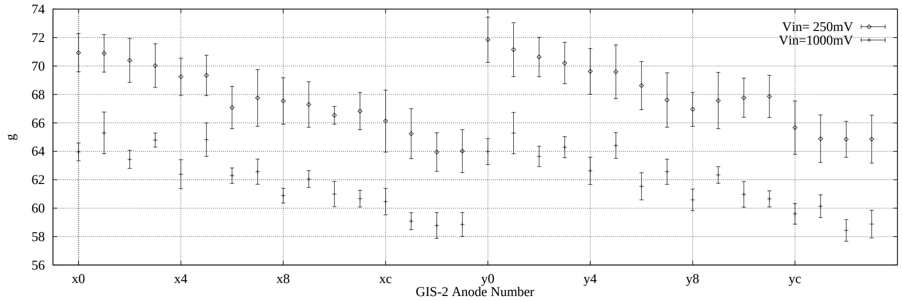
表 4.1　GIS-E2 アノード系の g と PH_{off} の値

$V_{in} = \cdots$ の行の n の値は、フィットの自由度 (データ点の数 -2)。

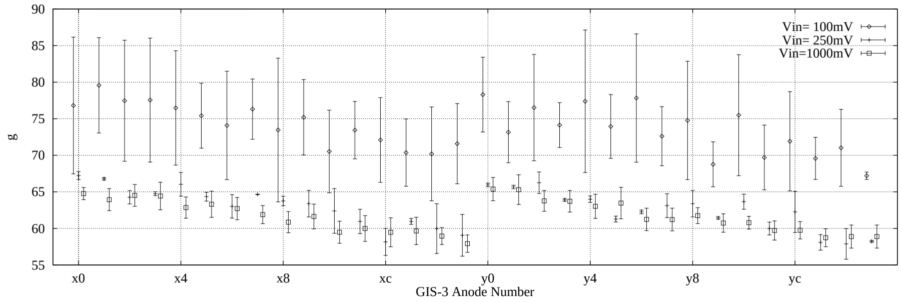
	$\mathrm{V}_{in} = 100$ mV(n=1)			$\mathrm{V}_{in} = 250$ mV(n=1)			$\mathrm{V}_{in} = 1000$ mV(n=3)		
	$_{\mathrm{red}}\chi^2$	g	PH_{off}	$_{\mathrm{red}}\chi^2$	g	PH_{off}	$_{\mathrm{red}}\chi^2$	g	PH_{off}
x0	4.08	76.8±9.3	81.1±18.2	0.01	67.2±0.5	65.2± 2.6	0.12	64.8±0.8	63.6±10.1
x1	1.81	79.6±6.5	85.4±12.7	0.00	66.8±0.2	62.3± 0.9	0.44	63.9±1.5	46.8±18.2
x2	2.97	77.5±8.3	84.6±16.4	0.04	64.3±0.9	56.3± 4.5	0.38	64.5±1.5	73.6±18.5
x3	3.20	77.5±8.5	83.4±16.7	0.00	64.8±0.3	58.0± 1.3	0.63	64.4±1.9	64.6±23.1
x4	2.72	76.5±7.8	83.3±15.6	0.12	66.0±1.6	68.4± 8.1	0.37	62.9±1.4	62.9±18.1
x5	0.91	75.4±4.4	81.6± 8.8	0.02	64.3±0.6	57.4± 3.0	0.58	63.3±1.8	60.1±22.2
x6	2.54	74.1±7.4	81.7±15.1	0.13	63.0±1.6	59.4± 8.2	0.39	62.7±1.5	75.9±19.5
x7	0.73	76.3±4.1	84.8± 8.3	0.00	64.7±0.0	66.4± 0.1	0.28	61.9±1.2	54.6±15.6
x8	4.42	73.5±9.8	82.1±20.2	0.02	63.8±0.6	66.5± 3.4	0.37	60.9±1.5	63.3±18.8
x9	1.17	75.2±5.2	83.9±10.5	0.16	63.4±1.8	61.8± 9.2	0.51	61.6±1.7	64.2±21.7
xa	1.55	70.5±5.7	79.2±11.8	0.43	62.4±3.1	66.2±16.1	0.42	59.5±1.5	55.6±19.8
xb	0.69	73.4±3.9	83.2± 8.1	0.14	61.0±1.7	55.9± 8.7	0.58	60.0±1.8	53.5±22.8
xc	1.45	72.1±5.8	84.7±12.4	0.19	58.2±1.8	48.1± 9.8	0.68	59.5±2.0	68.7±26.4
xd	1.02	70.4±4.6	79.5± 9.7	0.01	61.0±0.4	61.3± 2.2	0.62	59.7±1.9	63.0±24.7
xe	1.88	70.2±6.4	82.1±13.8	0.56	60.0±3.4	61.2±18.3	0.23	59.0±1.2	72.8±15.7
xf	1.34	71.6±5.5	83.2±11.7	0.42	59.1±2.9	54.9±15.3	0.26	57.9±1.2	52.9±15.9
y0	1.23	78.3±5.1	81.1± 9.8	0.00	65.9±0.2	57.2± 1.2	0.44	65.4±1.6	69.2±19.4
y1	0.95	73.2±4.2	74.3± 8.1	0.00	65.7±0.2	57.8± 1.1	0.72	65.3±2.0	66.4±24.6
y2	2.62	76.5±7.3	78.5±14.0	0.10	66.2±1.5	61.5± 7.2	0.36	63.8±1.4	60.3±17.5
y3	0.46	74.1±3.1	79.0± 6.1	0.00	63.9±0.2	55.0± 0.9	0.39	63.7±1.5	59.2±18.1
y4	4.29	77.4±9.8	82.7±19.1	0.01	64.0±0.4	55.2± 2.2	0.48	63.0±1.7	64.3±20.7
y5	0.92	73.9±4.4	79.6± 8.7	0.01	61.3±0.4	47.9± 2.0	0.80	63.5±2.2	68.5±26.9
y6	3.30	77.8±8.8	85.2±17.4	0.00	62.3±0.3	52.9± 1.3	0.44	61.2±1.5	52.4±19.5
y7	0.78	72.6±4.0	80.4± 8.3	0.13	63.1±1.6	60.1± 8.3	0.45	61.2±1.6	52.1±19.7
y8	3.02	74.8±8.1	81.7±16.3	0.16	63.4±1.8	61.8± 9.2	0.20	61.7±1.1	73.3±14.0
y9	0.51	68.8±3.1	74.4± 6.4	0.00	61.4±0.2	56.5± 0.9	0.29	60.7±1.3	59.3±16.2
ya	2.90	75.5±8.3	85.7±17.0	0.05	63.7±1.0	68.4± 5.4	0.13	60.8±0.9	71.0±11.4
yb	0.99	69.7±4.4	77.8± 9.3	0.04	60.0±0.9	54.9± 4.6	0.31	59.7±1.3	58.3±17.2
yc	2.18	71.9±6.8	80.6±14.1	0.36	62.3±2.8	66.6±14.9	0.24	59.7±1.2	69.5±15.8
yd	0.40	69.6±2.9	80.2± 6.2	0.06	58.1±1.1	48.1± 5.7	0.28	58.7±1.2	55.7±16.2
ye	1.28	71.0±5.3	81.5±11.1	0.25	57.9±2.1	46.8±11.1	0.43	58.9±1.6	70.5±21.3
yf	0.01	67.2±0.5	76.2± 1.1	0.00	58.2±0.1	54.0± 0.7	0.43	58.9±1.6	70.5±21.3

表 4.2　GIS-E3 アノード系の g と PH_{off} の値

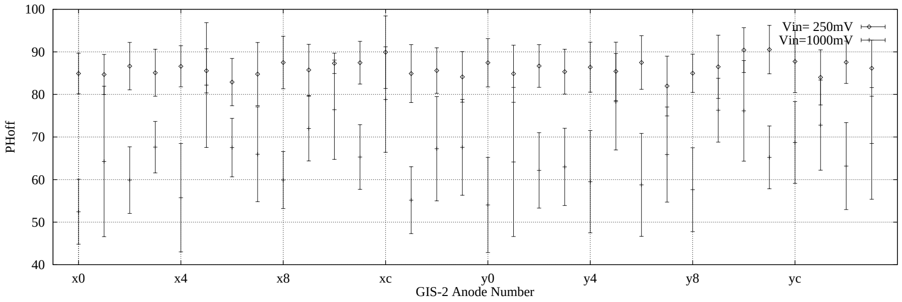
$\mathrm{V}_{in} = \cdots$ の行の n の値は、フィットの自由度 (データ点の数 -2)。



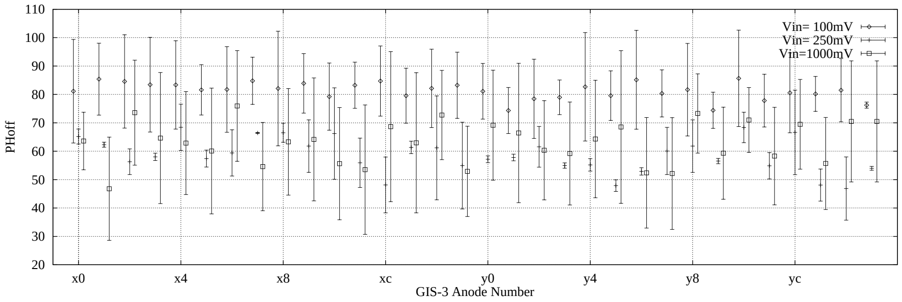
(a) GIS-E2 アノード系の g



(b) GIS-E3 アノード系の g



(c) GIS-E2 アノード系の PH_{off}



(d) GIS-E3 アノード系の PH_{off}

図 4.19　全アノードの g と PH_{off}

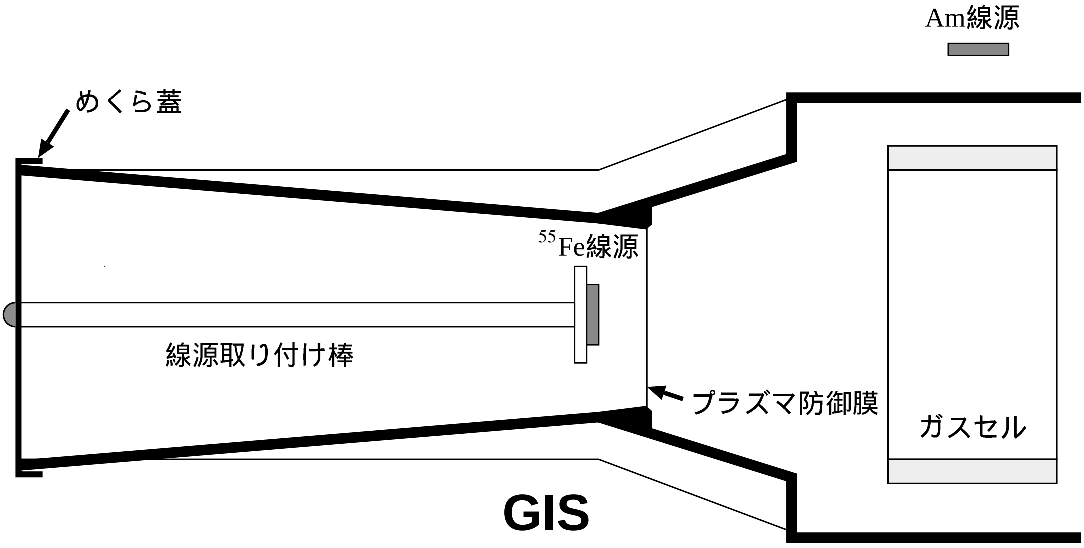
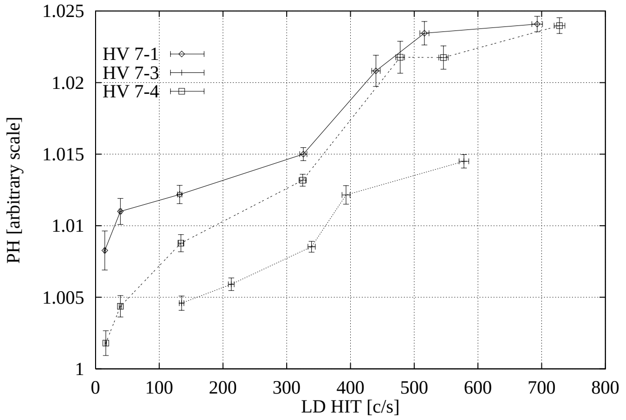
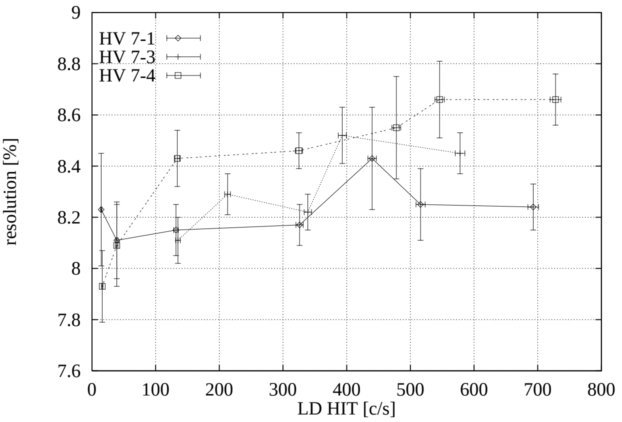


図 4.20　**GIS** への線源の取り付け方



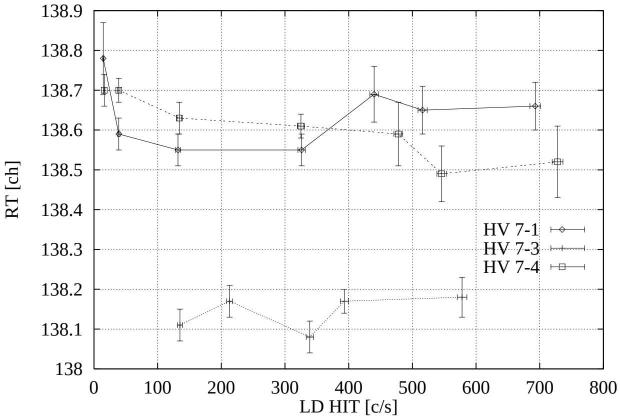
横軸がカウントレートで、縦軸が ^{55}Fe の PH スペクトルのピークチャンネルを定数倍したもの。"HV 7-1" は HVH がレベル 7、HVL がレベル 1 のデータを表し、PH のチャンネルが "HV 7-1" は 1/110、"HV 7-3" は 1/340、"HV 7-4" は 1/600 倍されている。カウントレートは 10 秒間の LD HIT のカウント数をもとに計算したもので、ポアソン的なエラーをつけてある。PH のピークチャンネルはセーブした PH スペクトルをエネルギー比を固定した 2 gaussian + 直線でフィットした値を使い、フィットの誤差がつけられている。

図 4.21　カウントレートと PH の関係



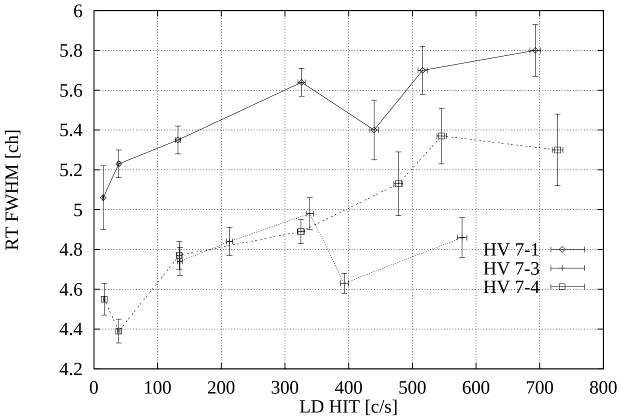
横軸がカウントレートで、縦軸が ^{55}Fe の PH スペクトルのピークの半値全幅をピークチャンネルで割ったパーセンテージ (エネルギー分解能)。エネルギー分解能の値と誤差は、PH スペクトルをエネルギー比を固定した 2 gaussian + 直線でフィットした時のものをプロットしてある。

図 4.22　カウントレートとエネルギー分解能の関係



横軸がカウントレートで、縦軸が RT スペクトルのピークチャンネル。RT の値と誤差は、RT スペクトルを gaussian + 直線でフィットした時のものをプロットしてある。

図 4.23　カウントレートと RT の関係



横軸がカウントレートで、縦軸が RT スペクトルのピークの半値全幅。RT の半値全幅の値と誤差は、RT スペクトルを gaussian + 直線でフィットした時のものをプロットしてある。

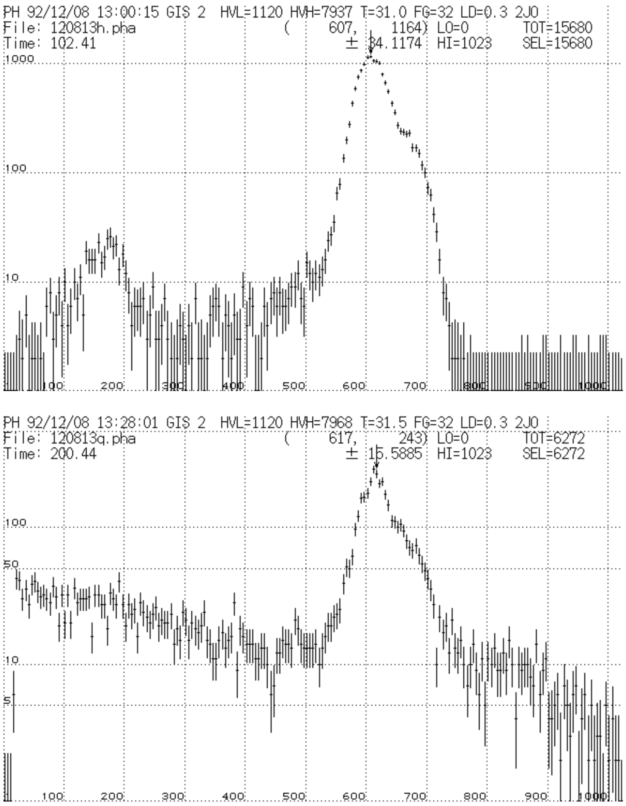
図 4.24　カウントレートと RT の半値全幅の関係

考えられる。また、HVL がレベル 1 であれば Am のピークが PH-UD の下に来て X 線イベントとして認められるが、レベル 3、レベル 4 では PH-UD を越えてしまい、ハードで切られてしまう。しかし、図を見るとレベル 1 のデータとそれ以外で大きな差は認められず、LD HIT のカウントレートしか PH チャンネルの上昇に効いていないことがわかる。図 4.22 はエネルギー分解能との関係であるが、こちらには有意な関係は現れていない。わずかに右上がりの傾向があるようにも見えるが、PH の上昇がエネルギー分解能の悪化をもたらすことはないようだ。

図 4.23 と 図 4.24 は RT と RT の半値全幅について同じような解析を行なったものである。図 4.23 で “HV 7-3” のデータだけ RT チャンネルの値が 0.5ch ほど違うが、原因は不明である。”HV 7-4” のデータと “HV 7-1” のデータは交互に取ったのに対し、”HV 7-3” のデータは独立に時間をおいてとったため、その間に RT が少し変わってしまったのだろうか。カウントレートが上がると RT の幅が広がるようだが、あまり顕著ではない。

4.3.3　PH のカウントレート依存性の測定実験のまとめ

FM センサーと FM GIS-E を用いて PH、RT のカウントレート依存性を調べた。カウントレートが上がると PH が上昇するという現象が見られたが、性能に影響するほどのものではない。



上が ^{55}Fe だけを当てた時、下が ^{55}Fe と Am を一緒に当てた時の PH スペクトル。横軸が PH チャンネルで、縦軸が 5ch ごとのカウント数。カウント数には、ポアソン的な誤差が付けられている。

図 4.25　Am を当てた時と当てない時の PH スペクトル

4.4　タイミング処理回路の較正

GIS の売りのひとつとして、 61 μsec に及ぶ速い時間分解能を持つことがあるが、本当にその性能が実現されているかどうかは、かなり疎かにされていた部分があった。この節では **GIS** のタイミング性能の検証と、 **GIS** でタイミング観測を行なう時の問題点の洗い出しを行なう。

ここでは主に PH モードの場合を扱うが、 MPC モードに関しては既に詳しい解析がなされており、性能上、問題になるようなことは見つかっていない。付録 F にそのレポートを載せるので、そちらを参照して欲しい。

4.4.1　PH モードでのタイミング観測の問題点

PH モードは **GIS** の標準観測モードであり、最大の時間分解能が得られるのもこのモードにある時である。しかし、 PH モードではハードの処理とオンボードソフトの処理が複雑にからんで、タイミング解析を行なう際には障害になることも多い。具体的には次のようなことが問題になると思われる。

不感時間が一定でない　CPU の処理中に来たイベントは CPU の処理が終るまでバッファに貯めておかれるが、バッファは 1 つしかなく、 CPU に読み出されてそのバッファが空くまで次の X 線イベントは無視される[18]。その時間 (不感時間) は CPU が何をしていたかによって異なり、最短で 100 μsec、最長で 8 msec 程度にもなる。

テレメトリ制限がある　PH モードで出力できるイベント数は、 1/8 フレーム (bit-rate High で 3.90625 msec) あたり 1 つに限られており、出力できなかったイベントは捨てられてしま

---

[18] モニタカウントの L1 と CPU IN の差を見ることにより、無視されたイベントの数は知ることができる。

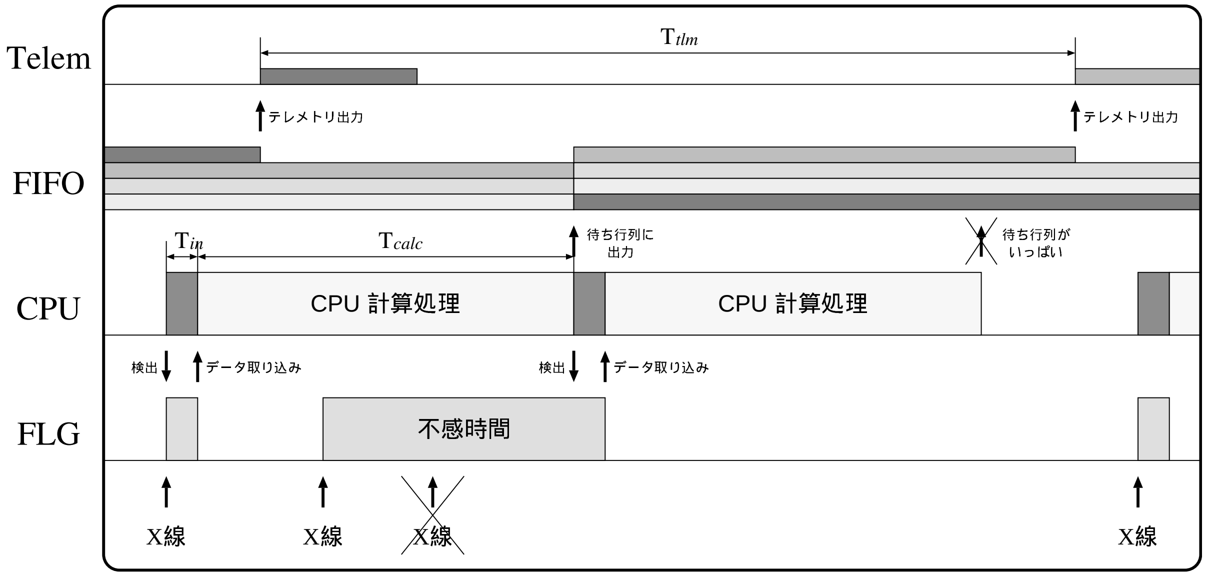


図 4.26 PH モードにおけるデータ処理のモデル

4 段めは FLG で、図 4.11 の FLG と同じもの。X 線が来ると H になり、CPU にデータが取り込まれると L になる。H の間は不感時間になり、X 線イベントは無視される。
3 段めは CPU の処理の種類を表しており、何も書いてない部分では X 線が来る (FLG が H になる) のを待っている。
2 段目は FIFO(待ち行列) の中身を示しており、テレメトリ出力で 1 つ減り、CPU 出力で 1 つ増える。4 つのデータでいっぱいになり、その間は CPU 出力が無視される。
1 段目がテレメトリ出力で、FIFO にデータがあれば一定間隔でテレメトリに出力される。

う[19]。オンボードソフトの中で 4 段の待ち行列を持ってはいるが、それでも CPU が出力できなくて捨てられてしまうものが存在する。

4.4.2 PH モードでのデータ処理のモデル化

前項で述べたことを次のようにモデル化して考えてみよう。まず、CPU がバッファにデータがあることを検出してから、データをバッファから取り込んで、再びイベントが受け付けられるようになるまでの時間を T_{in}、データを取り込んでから、計算処理、データ出力処理を経て、再びバッファにデータがあるか見にいくまでの時間を T_{calc} とおく。実際のオンボードソフトでは T_{in} はほぼ 100 μsec、T_{calc} は位置決め計算の方式によってかなり違い 1.5 ～ 8 μsec となる。さらに T_{calc} はイベントがバックグラウンドとされた場合などを考えれば、本来、イベントごとに違う値になるが、ここではすべてのイベントに対して一定の時間だと考える。また、出力時の待ち行列は 4 段とし、T_{tlm} 間隔でテレメトリに読み出されるものとする。実際は、テレメトリ出力も CPU が割り込みを使って行なっており、この間は計算処理が止まってしまうが、時間的にほとんど無視できるものとする。

これらの時間を使って、CPU にデータが取り込まれてからテレメトリにデータが出るまでをタイムチャートにまとめると、図 4.26のようになる。

---

[19] モニタカウントの CPU OUT とテレメトリに出力されたイベント数の差を見ることにより、捨てられたイベントの数は知ることができる。

4.4.3 モデルを使ったシミュレーション計算

前項のモデルを使って、任意の時系列を入力した時にテレメトリに出力されるデータを計算することができるプログラムを作成した。T_{in}、T_{calc}、T_{tlm} はパラメータとして与えることができる。初期状態では CPU は X 線が来るのを待っており、待ち行列は空である。

このプログラムに乱数を用いたポアソン的な時系列を与え、出力される結果をシミュレーション計算した。イベントの時間間隔のスペクトルをプロットしたものを図 4.27 に示す。(a) は不感時間もテレメトリ制限もない場合、すなわち入力したポアソン系列そのものであるが、きれいに指数関数的に落ちる分布を持っている。それに対し、(b) の T_{calc} が有限の値を持つ場合、すなわち不感時間を持たせると、ちょうど T_{calc} のところで分布が折れ曲がってしまう。これは 100 c/s、500 c/s の両方で見られる現象である。(c) は T_{tlm} が有限の値を持つ場合、すなわちテレメトリ制限がある場合であるが、こちらは 500 c/s の場合でのみ T_{tlm} の位置で折れ曲がりが見られる。テレメトリ制限は bit-rate High の時と同じになるように与えたので、出力できる最大カウントレートは 256 c/s であるが、そこを境に折れ曲がりが出るかどうかが決まるはずである。

このモデルの有意性を調べるために、実験で得られた時間間隔のスペクトルとシミュレーションで得られたスペクトルを比較してみた。使用したデータは、1992 年 11 月 18 日に明星電気のクリーンルームで取られたもので、PFM の GIS-E と FM スペアセンサ (Kovar F + ZS940) を用いた。センサは ^{55}Fe の線源をあてて GIS-E3 につなぎ、GIS-E2 の方には何も信号を入れなかった。その結果を図 4.28 に示す。(d) が bit-rate High、(e) が bit-rate Medium で取った時のデータで、シミュレーションに用いたパラメータは他の方法で測定したものを使った。スペクトルの形は全体に良くあっている。右表の数字も大きなくい違いは見せていない。CPUIN-fail の数値がシミュレーションの方が少なめに出ているようだが、$\mathrm{T}_{calc} = 2.1$ msec の見積りが小さ過ぎたかもしれない。

以上の結果から、このモデルで **GIS** のタイミング処理がかなりうまく記述できることがわかった。しかし、実際には GIS-2,3 両方の出力がテレメトリに出る[20]ので、これよりもう少し複雑なことを考える必要があるだろう。

4.4.4 フーリエ解析

前項で用いた実験データをフーリエ変換して、パワースペクトルを求めてみた。通常、フーリエ解析には、等時間間隔でサンプリングされた変移量を用いるが、この場合にデータとして用いるのはイベントの到着時刻になる。しかし、最小時間分解能でサンプリングしてカウント数を測定したと思えば、通常の解析方法を使うことができる。ただし、ほとんどのビンの値が 0 であるうえ、データ長がやたらと長く[21]なるため、FFT(高速フーリエ変換) などのアルゴリズムは使用せず、定義式のままの形で計算を行なった。

その結果を図 4.29 に示す。ゆっくりとした変動にはそれほど興味はないので、2 フレーム単位にデータを分けてフーリエ変換し、平均を取るという操作を行なっている。ポアソン系列であればパワースペクトルは平坦になるはずであるが、グラフを見るとワード (1 フレームの 1/128) に対応する位置に鋭いピークが現れている。また、T_{calc} に対応する 2.1 msec のところでも、はっきりはしないが、スペクトルが平坦でなくなっている。また、周波数の低いところでスペクトルの落ち込みが見受けられる。

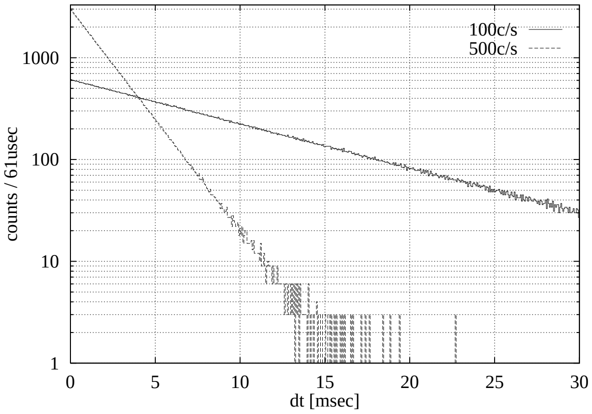
大きなピークが立っている周波数を使って、bit-rate Medium のデータで folding 解析[22]を行なってみると、明らかに 1/8 フレーム周期の波形が見える (図 4.4.4)。ピーク位置の時間は、待ち行

---

[20] GIS-2,3 両方の待ち行列にデータがある場合、交互にデータを出すようになっている。

[21] bit-rate High のデータでは 19693350 になる。

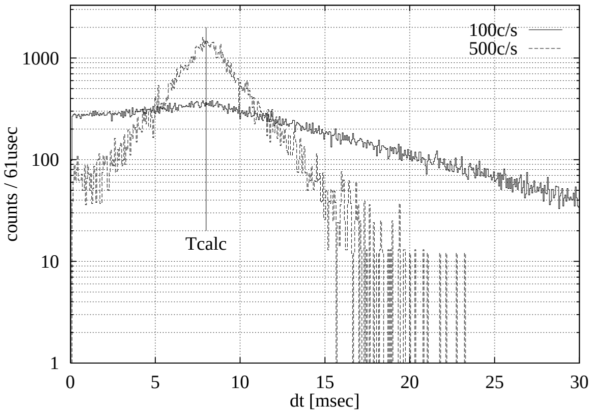
[22] 時系列を特定の周期で畳み込んで、平均を取ること。



(a) 不感時間、テレメトリ制限がない時

T_{in} =0 μsec
T_{calc}=0 msec
T_{tlm} =0 msec

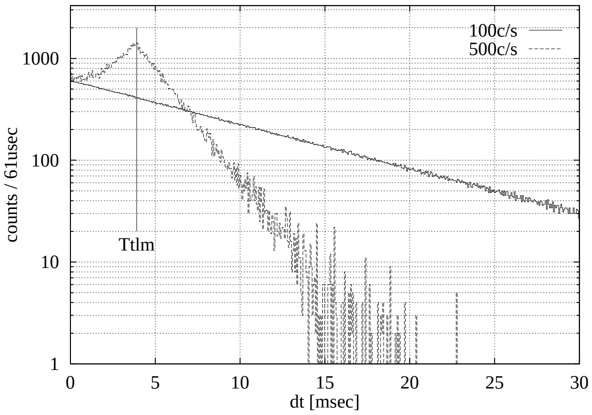
count rate	500 c/s	100 c/s
time	200sec	1000sec
output	100,000	100,000
incident	100,000	100,000
CPUIN-fail	0	0
CPUOUT-fail	0	0



(b) T_{calc} = 8 msec の時

T_{in} =100 μsec
T_{calc}= 8 msec
T_{tlm}= 0 msec

count rate	500 c/s	100 c/s
time	814sec	1261sec
output	100,000	100,000
incident	406,906	126,154
CPUIN-fail	306,906	26,154
CPUOUT-fail	0	0



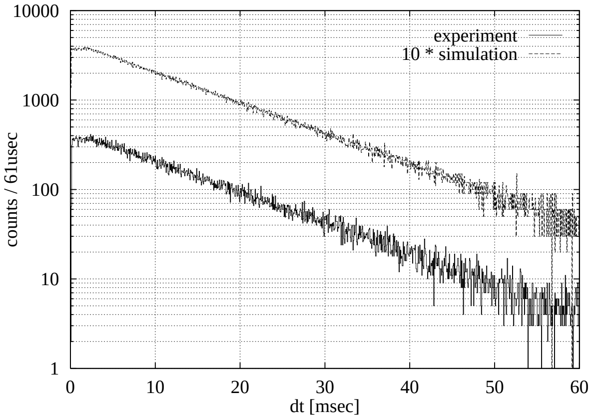
(c) T_{tlm} = 3.90625 msec の時

T_{in} = 0 μsec
T_{calc}= 0 msec
T_{tlm} =3.90625 msec

count rate	500 c/s	100 c/s
time	391sec	1,001sec
output	100,000	100,000
incident	195,577	100,121
CPUIN-fail	0	0
CPUOUT-fail	95577	121

図 4.27 シミュレーションによる時間間隔スペクトル

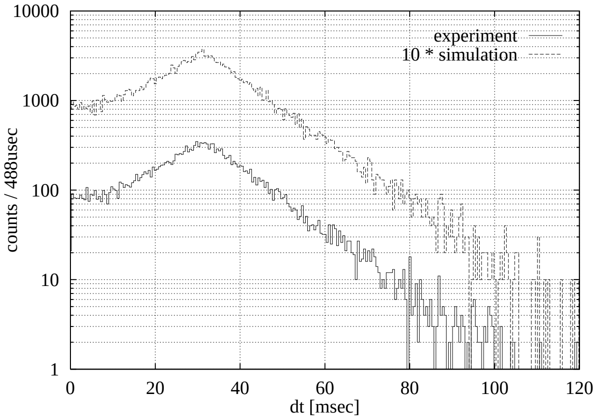
横軸がイベントの到着時間の間隔 (単位 msec) で、縦軸が 61.03515625 μsec (bit-rate H での最小時間分解能) あたりのカウント数。(a)、(b)、(c) の 3 つの場合について、平均 500 c/s(傾きが大きい方) と 100 c/s(傾きが小さい方) のポアソン的な時系列を入力した時のシミュレーションスペクトルをプロットした。右の表の time は積分時間、output は出力された全イベント数、incident は入力した時系列のイベント数、CPUIN-fail は CPU の不感時間のために CPU に取り込まれなかったイベント数、CPUOUT-fail はテレメトリ制限のためにテレメトリに出力されなかったイベント数である。



(d) bit-rate High の時

T_{in} = 100 μsec
T_{calc}= 2.1 msec
T_{tlm} =3.90625 msec

	experiment	simulation
count rate	78.688 c/s	78.688 c/s
time	1,202sec	1,190sec
output	91,582	91,582
incident	94,583	93,512
CPUIN-fail	2,390	1,928
CPUOUT-fail	264	2



(e) bit-rate Medium の時

T_{in} = 100 μsec
T_{calc}= 2.1 msec
T_{tlm} =48.828125 msec

	experiment	simulation
count rate	78.546 c/s	78.546 c/s
time	608sec	608sec
output	19,454	19,454
incident	47,756	47,929
CPUIN-fail	1,135	984
CPUOUT-fail	26,962	27,491

図 4.28　実験とシミュレーションの時間間隔スペクトルの比較

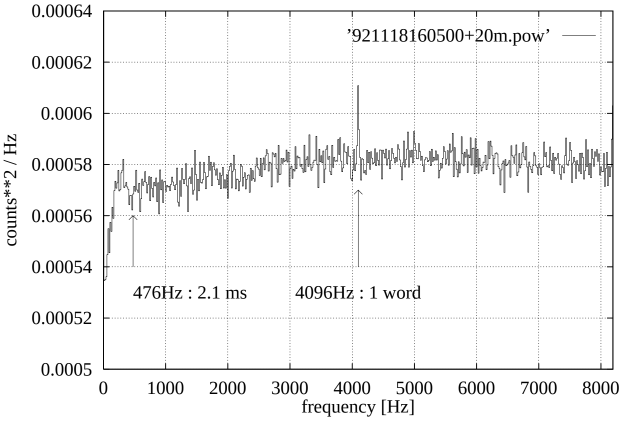
横軸がイベントの到着時間の間隔 (単位 msec) で、縦軸が (d) 61.03515625 μsec (e) 488.28125 μsec あたりのカウント数。シミュレーションのスペクトルはカウント数を 10 倍して、見やすくしている。

列からテレメトリにデータが出力されるタイミングと良く合っており、テレメトリ制限によるものであるのは明らかである。 **GIS** でタイミング観測を行なう場合には、テレメトリ制限にひっかからないよう気をつけるべきであろう。

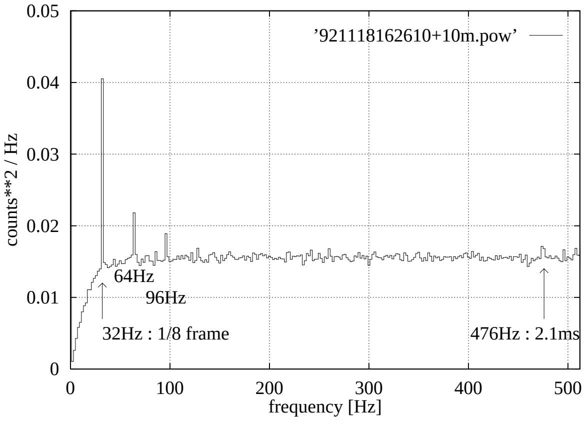
4.4.5　絶対時間の較正

1992 年 11 月 24 日、明星電気のクリーンルームで、 FM の GIS-E と堀井パルサーを使って TIM の絶対時間の較正を行なった。方法としては、堀井パルサーの信号をフレームに同期させて入力し、TIM の値の変わりめでのパルスのタイミングをオシロスコープで測るということを行なった。フレームの同期は GIS-E の E6 端子 13 ピンの FC(フレームクロック) に対して行なった。堀井パルサーの波形はできるだけ立ち上がりを鋭くし、ディスクリレベルによる曖昧さを除いた。データ取得は FM チェックボックスと **PH** で行なった。

その結果、 FC が立ち上がってから堀井パルサーのパルスが発生するまでの時間が表 4.3 のように測定された。この結果より、全ての時刻は FC の立ち上がりの 26 μsec 前を基準 (0 の点) として付けられているのが確かめられた。



(a) bit-rate High の時



(b) bit-rate Medium の時

図 4.29　実験データのパワースペクトル

横軸が周波数 (単位 Hz) で、縦軸が単位周波数当たりのパワー。2 フレーム単位 (最小時間分解能の 1024 倍) にデータを分けてそれぞれについてフーリエ変換を施し、平均を取ったものをプロットしてある。

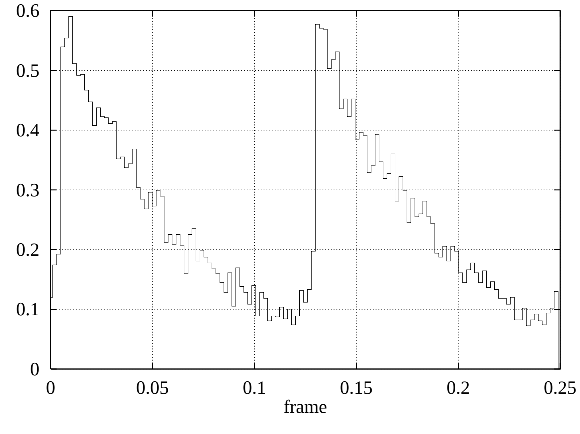


図 4.30　bit-Medium のデータを使った folding 解析

横軸が時間 (単位フレーム) で、縦軸が最小時間分解能 (1/512 フレーム) あたりのカウントレート。1/4 フレームを周期とした folding 解析を行なった結果。

モード	PH				MPC
bit-rate	High	High	Medium	Low	High
TIM ビット数	10	9	10	10	
ff ↔ 0	-25.9		(-26)		-26
0 ↔ 1	35.0	97	464	2,008	1,946
2 ↔ 2	158	219	952	3,800	3,895
3 ↔ 3	219				

表 4.3　TIM の絶対時間の較正

時間の単位はすべて μsec。空欄は、測定しなかったか、できなかったもの。かっこつきの数字は、ふらつきが多くてはっきりと読めなかったもの。

4.4.6　タイミング処理回路の較正のまとめ

データの処理回路のタイミングから **GIS** の不感時間を明らかにし、そのモデル化を行なった。モデルにしたがってシミュレーションを行ない、実際のデータを合うことを確かめた。実験データをフーリエ解析し、観測で不都合が起きるかどうかを調べた。絶対時間の較正を行なった。

4.5　ハードウェアによるバックグラウンド除去機能に関連した不具合

GIS は RT-LD、RT-UD、PH-UD を用いてイベントを選び出すことにより、効果的に非 X 線イベントを落とすことが出来る (→2.3 P.13)。これらの機能はハードウェアによって実現されているが (→4.1.5 P.49)、これに関連した重大な不具合が総合試験もヤマ場に差しかかった 1992 年 11 月 6 日に発見された。結局、この不具合のため、原因の究明後に GIS-E が改修をうけることとなったが、回路の一部の変更でなんとかことなきを得た。この節では、この不具合について報告する。

4.5.1　不具合の内容

1992 年 11 月 6 日 (金) に宇宙研 2F クリーンルームにおいて PFM GIS-E を使用して FM **GIS** センサの詳細データチェックを行なったところ、次のような ^{55}Fe – BGD および ^{55}Fe – ^{109}Cd 間のエネルギーと位置の関係の混同が起こることが発見された。

弱い X 線較正ソース (^{55}Fe) を **GIS** センサの端につけ (この状態でのデータを図 4.31に示す)、RT ディスクリを X 線波形のみに絞り (図 4.32)、オンボードソフトの半径ディスクリで ^{55}Fe ソースの取り付け位置をマスクしてデータを集積したところ、位置はバックグラウンドの位置に (センサー全面にランダムに) 分布しているが、マスクされて現れないはずの ^{55}Fe のエネルギーのところに PH のピークを持つデータが得られた (図 4.33)。図 4.34に本来出力されるべきデータ (改修後) を示す。

さらに、^{109}Cd および ^{55}Fe を別々の場所に取り付け (図 4.35)、^{109}Cd が PH-UD 以上になるようにゲインを調整してデータを集積すると、本来あってはならない ^{109}Cd の位置に、^{55}Fe のエネルギーを持つイベントが観測された (図 4.36)。図 4.37に本来出力されるべきデータ (改修後) を示す。

この不具合は、後で FM GIS-E でも確認された。このことは、位置によるイベントの選択がほとんど意味をなしていないことを示しており、**GIS** の位置情報が信頼できないという **GIS** の基本性能に関わる重大な問題である。

図 4.31　^{55}Fe 較正ソース – BGD データ

図 4.32　^{55}Fe 較正ソース – BGD データ（RT ディスクリ ON）

図 4.33　^{55}Fe 較正ソース – BGD データ（RT、半径ディスクリ ON）

図 4.34　^{55}Fe 較正ソース – BGD データ（RT、半径ディスクリ ON、改修後）

図 4.35　^{109}Cd – ^{55}Fe データ

図 4.36　^{109}Cd – ^{55}Fe データ（ゲインアップ）

図 4.37　^{109}Cd – ^{55}Fe データ（ゲインアップ、改修後）

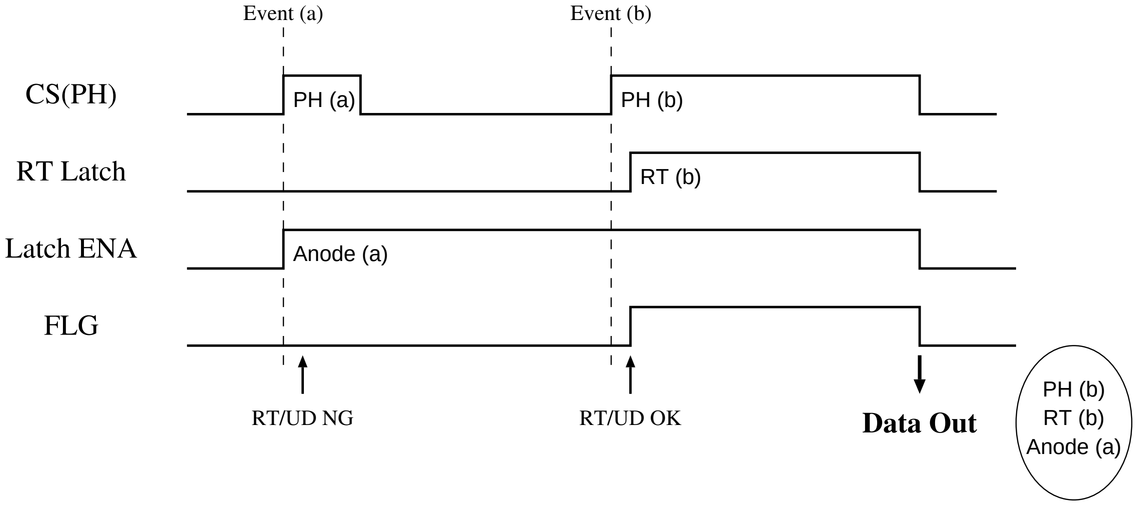


図 4.38　GIS-E の不具合発生時のタイミングチャート

4.5.2　不具合の原因と処置

この不具合の原因として、QL ソフト、オンボードソフト、GIS-E などが考えられたが、オンボードソフトの関係しない PCAL モードでも再現することから GIS-E そのものが原因であるらしいことがわかった。さらに、**RBM** 基板を取り外すと再現しないことや[23]、RT ディスクリや PH-UD にかかるイベントが多くなると顕著に現れることから、ハードディスクリに関連して発生するらしいことが PFM GIS-E を使った調査でわかった。

結局のところ、この不具合の原因は X 線イベントとして認められなかった場合 (図 4.11 右図) に図 4.11 の Latch ENA が L にリセットされず H になりっぱなしになっていたためであった。このため、ハードディスクリではねられるイベント (a) が来た場合にアノード情報がクリアされず、次に正常なイベント (b) が来たとき (a) のアノード情報を使って位置決めを行なってしまうのである (図 4.38)。

この不具合修正のため、基板の 1 か所をパターンカットし、余っていた NAND ゲート 2 つと インバータ 1 つを用いて、ハードディスクリではねられた場合にアノード情報もきちんとクリアされるよう回路が追加された。この改修は、PSA2 基板と PSA3 基板の両方について行なわれた。

4.5.3　FM GIS-E 改修前の再現実験

FM GIS-E を改修する前に、上記の不具合が確かに発生しているかを調べるため、1992 年 11 月 24 日に明星電気の第 5 工場クリーンルームにおいて、不具合の再現実験が行なわれた。実験のセットアップを 図 4.39 に示す。

このセットアップで、次の 3 種類のデータを取った。

(1)	RT ディスクリなし	^{55}Fe 線源あり	時間 20 分	Bit M
(2)	RT ディスクリあり	^{55}Fe 線源あり	時間 20 分	Bit M
(3)	RT ディスクリなし	^{55}Fe 線源なし	時間 20 分	Bit M

---

[23] ハードディスクリの判定は、**RBM** 基板の上で行なわれているため、**RBM** 基板を取り外すとハードディスクリがかからなくなる。

(1)、(2)、(3) のデータにおけるモニタカウントの総和は、表4.4のようになった。L1 と CPUIN、CPUOUT と TLM がそれぞれほぼ等しい数になっているので、不感時間やテレメトリ制限による数え落としはほとんどないと思って良い。

ここで、位置による ^{55}Fe のイベント選択を **A**、RT と PH による ^{55}Fe のイベント選択を **B** とする (図4.40)。このとき、(1)、(2)、(3) のそれぞれのデータで、条件 $\bar{\mathbf{A}}$、条件 **B**、条件 $\bar{\mathbf{A}} \cap \mathbf{B}$ を満たすものの数は、表4.5 のようになる。ハードウェアで選択した場合と、後からデータ処理で選択した場合が同じであるとすれば、表4.5 で左上に同じ記号 ($\triangle\Box\star$) が書いてある数は、ポアソン揺らぎの範囲内で同じ値を示すはずであるが、そうなっていないものが見られる。これは、GIS-E に不具合があるためである。特に、$\bar{\mathbf{A}} \cap \mathbf{B}$ では相違がはっきりしている。

4.5.4 FM GIS-E 改修後の動作確認

FM GIS-E の改修後、不具合が確かに修正されているか調べるため、1993年12月3日に明星電気の第5工場クリーンルームにおいて、FM GIS-E の動作確認が行なわれた。実験のセットアップは、図4.39 と同じである。

今回は時間の都合もあり、次の2種類のデータだけを取った。

(1)	RT ディスクリなし	^{55}Fe 線源あり	時間 20 分	Bit M
(2)	RT ディスクリあり	^{55}Fe 線源あり	時間 20 分	Bit M

(1)、(2) のデータにおけるモニタカウントの総和は、表4.6 のようになった。やはり、不感時間やテレメトリ制限による数え落としはほとんどない。今回は、^{55}Fe 線源のつけた位置が違ったので、条件 **A**、**B** の設定は、表4.7 のようにした。データ解析の結果を表4.8 に示す。左上に同じ記号 ($\Box\star$) が書いてある数字がほぼ同じ値になり、特に問題は見られない。

4.5.5 ハードディスクリ関連不具合修正のまとめ

総合試験の時点で GIS-E に不具合が発見され、調査の結果ハードディスクリに関連した問題であることがわかった。FM GIS-E の改修の前後で不具合の再現実験と改修の確認実験を行ない、正しく改修が行なわれたことを実験的に確かめた。

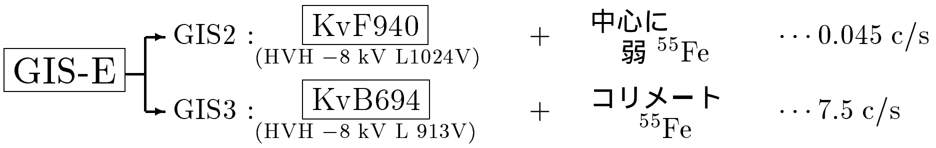


図 4.39　GIS-E 不具合再現実験のセットアップ

KvF940、KvB694 は **GIS** センサの種類。KvF、KvB はガスセルの製造番号、後ろの数字は PMT の番号を示す。弱 ^{55}Fe は、較正用線源と同じものを用いた。

		IN	OUT	LD	L2	H2	L1	H1	L0	H0	TLM	L012	H012
GIS2	(1)	2478	1673	4506	0	0	2480	2026	0	0	1676	2486	2026
	(2)	284	182	4537	898	1747	284	75	1330	200	182	2512	2022
	(3)	2450	1612	4486	0	0	2451	2035	0	0	1615	2451	2035
GIS3	(1)	11995	11252	13138	0	0	12001	1147	0	0	11259	12001	1147
	(2)	8816	8294	13051	1627	888	8823	50	1510	150	8301	11960	1088
	(3)	3035	2539	4043	0	0	3036	1006	0	0	2541	3036	1006

表 4.4　GIS-E 不具合再現実験でのモニタカウントの総和

IN は CPUIN、OUT は CPUOUT、LD は LDHIT、TLM は テレメトリに出力された数、L012 は L0+L1+L2、H012 は H0+H1+H2 のこと

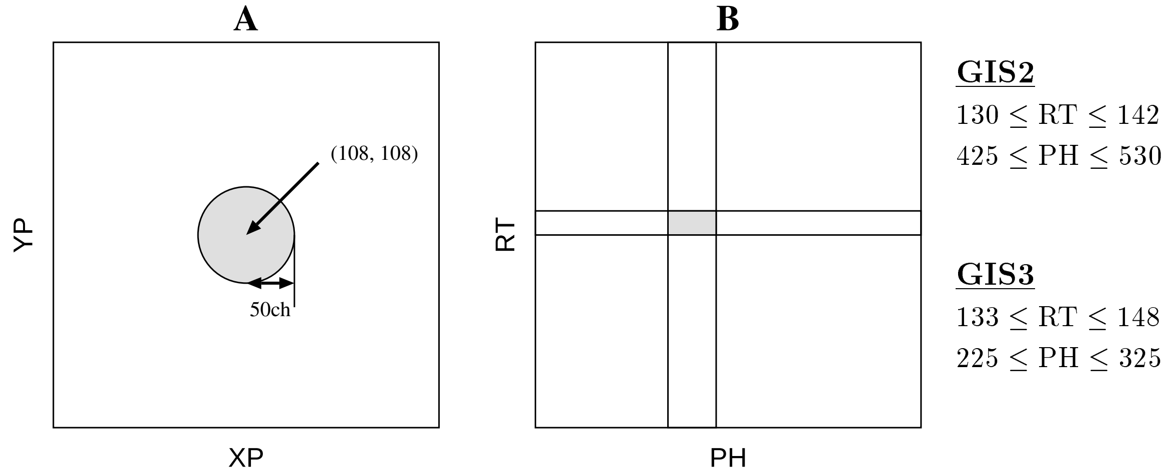


図 4.40　XP-YP 平面と PH-RT 平面での ^{55}Fe イベントの分布位置

	GIS2			**GIS3**		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
$\bar{\mathbf{A}}$	$^{\triangle}$1543	164	$^{\triangle}$1533	$^{\triangle}$2886	2136	$^{\triangle}$2341
B	$^{\square}$67	$^{\square}$76	8	$^{\square}$8003	$^{\square}$7768	31
$\bar{\mathbf{A}}\cap\mathbf{B}$	*22	*65	*6	*369	*1851	*28

表 4.5　GIS-E 不具合再現実験でのカウント数の比較

GIS-E の不具合のため、同じ値になるべき数字 (左上に同じ記号:△□⋆ が書いてあるもの。ただし、GIS2 と GIS3 は別とする。) が食い違っている。

		IN	OUT	LD	L2	H2	L1	H1	L0	H0	TLM	L012	H012
GIS2	(1)	2928	2683	4800	0	0	2931	1866	0	0	2686	2931	1866
	(2)	852	834	4866	971	1591	852	73	1224	153	834	3047	1817
GIS3	(1)	12286	12036	13375	0	0	12300	1069	0	0	12044	12300	1069
	(2)	9178	9153	13239	1591	873	9191	65	1409	105	9159	12191	1043

表 4.6　GIS-E 修正確認実験でのモニタカウントの総和

	A	**B**
GIS2	中心 (152, 30) $\mathrm{R} \leq 20$	$125 \leq \mathrm{RT} \leq 150, 335 \leq \mathrm{PH} \leq 470$
GIS2	中心 (118,118) $\mathrm{R} \leq 32$	$128 \leq \mathrm{RT} \leq 153, 215 \leq \mathrm{PH} \leq 330$

表 4.7　GIS-E 修正確認実験での条件設定

	GIS2		**GIS3**	
	(1)	(2)	(1)	(2)
$\bar{\mathbf{A}}$	2015	278	2887	355
B	$^{\square}$541	$^{\square}$551	$^{\square}$8631	$^{\square}$8539
$\bar{\mathbf{A}} \cap \mathbf{B}$	*58	*54	*65	*73

表 4.8　GIS-E 修正確認実験でのカウント数の比較

左上に同じ記号 (□⋆) が書いてある数字がポアソン統計の範囲でほぼ同じ値になり、特に問題は見られない。

第 5 章

オンボード CPU によるデータ処理

謝辞

この修士論文の製作にあたりましては、指導教官である牧島一夫先生、92年10月から都立大の所属になった大橋隆哉先生、GSFCの海老沢さん、宇宙研の石田さん、京大の鶴さん、理研の三原さん、東大博士課程の田代さん、香村さん、印田さん、池辺さん、明星電気の田口さん、日吉さん、堀井さん、東大および宇宙研の修士課程の深沢君、上田君、藤本君、小谷君、小賀坂君といった方々をはじめとする**GIS**および「あすか」チームのみなさまに多大な御協力をいただきました。これらの方々に感謝するとともに、「あすか」と名付けられた**ASTRO-D**衛星が素晴らしい成果をあげていくことを期待します。

1993年6月10日　石崎 欣尚

配布が遅れて申し訳ありませんでした。

付録 A

衛星テレメータファイルのフォーマット

衛星テレメータファイルは、データ保存管理ファイルとデータ保存ファイルの 2 種類があり、通常 `/astrod/real/`（リアルデータ用）や `/astrod/stor/`（プレイバックデータ用）のディレクトリに、それぞれ `cntl`（管理ファイル）`data`NN（保存ファイル、NN は 2 桁の数字）の名前で入っている。

データ保存ファイルに実際に衛星から送られてきたフレームデータが格納されており、通常 KSC でデータを受信するごとに 1 ファイル作られる（衛星試験の時は、30 分で 1 ファイル）。管理ファイルには、保存ファイルのどれがいつのデータにかが書いてあり、これを参照してどの保存ファイルをアクセスするかを決める。

詳細なファイルフォーマットは、次項から示す富士通の説明資料を参照されたい。

付録 B

FM チェックボックスとパソコンのインターフェイス

FM チェックボックスとパソコンとの間のデータのやりとりは、すべて三原さんの設計した共有メモリボードを介して行なわれる。共有されるメモリは、パソコンから見て 0C0000H – 0C4000CH までの偶数アドレスとなっている。表 B.1 にパソコン側から見た時のメモリアドレスと Read/Write の区別、およびその内容を示す。

具体的に、DC/BC を打つときや、D/A 出力の設定をするときのやり方は、表 B.2 にまとめた。

アドレス	R/W	内容	
C0000H ~ C3FFFH	R	1 SF のデータを偶数アドレスに配置	
C4000H	R	フレームカウンタ	
C4002H	R	フラグ関係	D7:FIFO(MPC GIS2) の DOR
			D6:FIFO(MPC GIS3) の DOR
			D3,D2:Bit Rate 00:L 01:M 10:h
			D1:D/A Data Accept
			D0: コマンドの Write Enable
C4004H	R	GIS status 1 (F01W32)	
C4006H	R	GIS status 2 (F17W32)	
C4008H	R	GIS status 3 (F33W32)	
C400AH	R	MPC GIS2 のデータ FIFO より	
C400CH	R	MPC GIS3 のデータ FIFO より	
C4000H	W	16ch D/A 制御コード	
C4002H	W	コマンドコード	
C4004H	W	コマンド制御	D7:Memory Check Start
			D6:D/A Data Send
			D5-2:D/A 項目の指定
			D1:DC/BC 1:DC 0:BC
			D0:Command Execute

表 B.1　パソコンと FM チェックボックスで共有されるメモリアドレス一覧

DC を打つとき	Write Enable を確認	(1 == ([C4002H] & 1))
	DC/BC を DC に設定	([C40004H] = 2)
	DC コマンドコードの設定	([C40002H] = DC)
	Command Execute を H	([C40004H] = 3)
	Command Execute を L	([C40004H] = 2)
BC を打つとき	Write Enable を確認	(1 == ([C4002H] & 1))
	DC/BC を BC に設定	([C40004H] = 0)
	BC コマンドコードの設定	([C40002H] = BC)
	Command Execute を H	([C40004H] = 1)
	Command Execute を L	([C40004H] = 0)
D/A 出力の設定	以下の手順で ch,FR,WD,REP,SB(0-7),TB(0-7),SW(0/1) を順に設定	
	D/A Data Accept L を確認	(0 == ([C40002H] & 2))
	D/A 出力設定データの設定	([C40000H] = data)
	項目設定と D/A Data Send H	([C40004H] = (ko<<2)|0x40)
	(ko = 0:ch, 1:FR, 2:WD, 3:REP, 4:SB, 5:TB, 6:SW)	
	D/A Data Accept H を確認	(2 == ([C40002H] & 2))
	D/A Data Send L	([C40004H] = (ko<<2))

表 B.2　パソコンから FM チェックボックスへのコマンド送出手順

付録 C

パソコンと実験回路のインターフェイス

実験回路とパソコンとの間のデータのやりとりは、すべて三原ボードと呼ばれる 16bit × 6 port の汎用 PIO ボードを介して行なわれる。三原ボードと実験回路は 表 C.1のように結線されている。

実験回路からのデータの取得は、以下の要領で行なう。アドレスに指定する値と、読み出したデータとの対応は 表 C.2 を参照のこと。

(1) FLG が H になるまで待つ (1 == (PA0H & 1))
(2) 16 μsec 待つ (PH/RT ADC の変換時間)
(3) アドレスを指定する (PB0L = ADDRESS)
(4) EIORD を H にする (PB0H = 1)
(5) 数 μsec 待つ
(6) データを読み出す (DATA = PA0L)
(7) EIORD を L にする (PB0H = 0)
(8) (3) - (7) を繰り返し、必要なデータを取り出す
(9) FLG CLR を 10 μsec 以上 H にする (PB0H = 2, wait, PB0H = 0)

	PA0 (Read)		PB0 (Write)	
H	D15	GND	D16	DC-MODE
	14	GND	14	BC-MODE
	13	GND	13	CM-CLK
	12	GND	12	STROBE
	11	GND	11	CM-ACT
	10	GND	10	CM-DATA
	9	GND	9	FLG CLR
	8	FLG	8	EIORD
L	7	ED7	7	No Connection
	6	ED6	6	No Connection
	5	ED5	5	EA6
	4	ED4	4	EA5
	3	ED3	3	EA4
	2	ED2	2	EA3
	1	ED1	1	EA2
	0	ED0	0	EA1

表 C.1　三原ボードと実験回路の結線

ADDRESS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
DATA	X0	X2	X4	X6	X8	XA	XC	XE	X1	X3	X5	X7	X9	XB	XD	XF

ADDRESS	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
DATA	Y0	Y2	Y4	Y6	Y8	YA	YC	YE	Y1	Y3	Y5	Y7	Y9	YB	YD	YF

ADDRESS	32	33	34	35	36
DATA	PH-H	PH-L	RT	TIM-H	TIM-L

表 C.2　実験回路の ADDRESS - DATA 対応表

付録 D

PH が作るファイルのフォーマット

PH が作るファイルの形式で主なものとしては、PHA 形式、gi 形式、LOG 形式の 3 種類がある。以下に、それぞれについて説明する。

D.1 PHA 形式

PHA 形式は PH スペクトルなどを記録するのに使われるテキストファイル用のフォーマットである。牧島研究室の内部でよく使われる disp4[1] というプログラムが対応していることで採用された。テキストファイルで、さらにフォーマットが単純なので扱いやすい。ファイルにデータ誤差を記述するスペースがないのが弱点といえよう。フォーマットは以下の通り。数字の区切りには、通常スペース (20h) を用いる。

1 行目:	タイトル (99 文字まで。それ以上は無視される)	
2 行目:	1 番目の数字:	チャンネル数 (N)
	2 番目の数字:	積分時間 (T)
	3 – (N+2) 番目の数字:	0 – (N-1) ch のカウント数
以降 1 – 2 行目の繰り返し		

D.2 gi 形式

実験回路でとった **GIS** のデータを記録するのに上條が用いたフォーマット。テキストのヘッダの後に、バイナリの **GIS** のイベントデータが続く。1 イベントにつき、35bytes を消費する。

ヘッダの例 (2 番目の ’*’ がヘッダの終了を示す) :

```
File created : 1992.06.29 06:49:00
Start time : 709768108  End time : 709768140  Integrated time :* 31.799sec
Event : # 5000
Temp  : 27.14
Current:  0.00
LD count:      5585
L1 count:        86
```

---

[1] もともとは disp3 という名前の三原製のソフトを、使用方法はほぼ以前通りのまま石崎が大幅に書き直して拡張したもの。簡便な使用感が特徴で、簡単なスペクトルフィットなどの機能を持つ。PC98 および、UNIX + X-Window 上で動作する。

```
( X , Y ) = ( 000000,000000 )
*
```

イベントデータのフォーマット（これがイベントの数だけ続く）:

offset	size	内容
+0	2	PH データ (Big Endian)
+2	1	RT データ
+3 – 18	16	X anode 0 – 15 ch データ
+29– 34	16	Y anode 0 – 15 ch データ

D.3 LOG 形式

フレームデータを **GIS** 用に圧縮した形でそのまま保存するためのフォーマット。通常 1 時間で 1 ファイルが作られ、ファイル名は `YYMMDDHH.log` となる。1SF が単位で、以下の `struct sflogdata` の内容がそのままファイルに落とされたものとなる。ただし、word alignment はバイト単位とし、2 バイト以上の整数は Big Endian で格納されるとする（PC98 Turbo-C での default）。1SF につき、2701bytes を消費する。

```
struct  logtime {
        unsigned char   ti_min;         /* Minutes */
        unsigned char   ti_hour;        /* Hours */
        unsigned char   ti_hund;        /* Hundredths of seconds */
        unsigned char   ti_sec;         /* Seconds */
};

struct  logdate {
        short   da_year;        /* Year */
        char    da_day;         /* Day of the month */
        char    da_mon;         /* Month (1 = Jan) */
};

struct frlogdata {
        unsigned long main[8];  /* GIS のメインデータ */
        unsigned long mon[2];   /* W48-W51,W64-W67 の GIS モニタワード */
        unsigned char bos;      /* W97 の GIS block OS データ */
        unsigned char hk;       /* W33 の HK データ */
};

struct sflogdata {
        struct logdate date;    /* SF の先頭の日付 */
        struct logtime time;    /* SF の先頭の時刻 */
        unsigned char stat[3];  /* GIS ステータスワード F1,F17,F33 の W32 */
        unsigned char fi;       /* SF の先頭のフレームインディケータ */
        char rate;              /* ビットレート F15 W32 */
        struct frlogdata fr[64];
```

```
};
```

付録 E

実験回路の特性

付録 F

MPC モードのタイミング解析

付録 G

ワークステーション用 QL ソフト

G.1 WS 版 QL ソフト (WS-QL)

WS-QL は、第 1 次衛星噛み合わせ試験の時点でほぼ今の形に近いものができて動いていた。しかし、パソコン版の QL ソフト (**PH**) がかなり良くできていたことや、開発の場面で登場する機会があまりなかったため、信頼性、安定性、操作性といった面ではいまいちの感がある。メモリを大量に確保できる、表示画面が広いなどの WS の特質を生かし、カウントレートや HK の値を追いたい時など、WS-QL の方が便利な面も確かにある。だが、PCAL 時のアノードモニタや、モニタワードの 1 次元分布など、現在のところ **PH** でしか見られない情報もあり、当分は **PH** と合わせて使用していくのが適当であろうと思われる。

G.2 動作環境

WS-QL は、X-Window の動作する UNIX ワークステーション上で動作する。titania などの sparc-station、miranda などの DEC-station でコンパイル、実行を確認している。QL および DL に使用することができ、DL の場合は、次の 3 つのデータに対応している。

1. テレメトリファイル　(inazuma:/astrod/real/ にあるようなデータ)
2. FRF　(/xray/d1/frftemp/ にある)
3. PH.EXE log ファイル　(熱真空で使っていたやつ)

DL 開始時刻の指定方法については、付録 H にちょっと前に adsoftjp に流したメイルの内容をつけるので、そちらを参照のこと。

G.3 起動方法

WS-QL の実行ファイルその他は、KSC の場合は `~gis/` に、宇宙研の場合は、sparc-station 用の実行ファイルが、`/minazuki/h1/gis/QL.sun/` に、DEC-station 用の実行ファイルが、`/minazuki/h1/gis/QL.dec/` においてある。WS-QL を起動するには、上記のディレクトリに移って、

```
% giqlmenu &
```

とする。すると、図 G.1 のような起動メニューが現れる。KSC においては、gis のユーザーネームでログインすると、自動的にここまで実行される。

このメニューから、QL/DL のどちらを行なうのか、どんな画面を表示させるのか、QL を開始するのかやめるのかなどを選択する。例えば、QL を行なう時は PASS: ____________ のところに

PASS : QL

930317141000

93/ 3/17 14:11:24.851

BIT L SF:5452 FI: 63(3FH)

FR/sec 32

図 G.1　WS-QL 起動メニュ- (左) と コントロールパネル (右)

QL と入力して、(START) ボタンをクリック[1]する。DL を行なう時は、付録 H に従ってパス番号や DL 開始時刻を入力して (START) ボタンをクリックする。あるいは、[RET] キーを押してもよい。

すると、さらに図 G.1 のような WS-QL のコントロールパネルが出現する。このパネルからは、QL/DL が走っている状態 (RUN) か、停止している状態 (PAUSE) かの制御や、DL の場合はスピードコントロールを行なうことができる。(RUN)/(PAUSE) を左ボタンでクリックすることでポーズの制御が、下にあるスライダーバーをマウスで動かす、あるいは直接キーボードから数値を入力することで DL のスピード調整ができる。

これでやっと、見たい画面をメニューで選んで広げることができる。各画面についての説明は次の節で行なうとして、画面の広げるには、WS-QL 起動メニューの下にある項目を左ボタンでクリックするか、上についている (MENU) の中から選択する。メニューは、(MENU) ボタンをマウスの右ボタンで押すと出てくる。要注意事項として、データの集積は、ここで画面を広げた時から始まるので、見たい情報の画面はあらかじめ広げておく必要がある[2]。

こうやってひとしきりデータを見た後は、起動メニューの (STOP) を押すと、コントロールパネルを含むすべての画面が消えて、起動メニュー画面だけが残る[3]。また、PASS: ______________ のところに見たいものを入力して、始めからやり直すことができる。起動メニューを抜けるには (QUIT) をクリックする。画面が飛び出してきて確認を求めてくるので、YES と答えてやればよい。

G.4　WS-QL にある画面

G.4.1　テキスト画面 (Character QL / Frame Dump)

PH の [F10] あるいは [F3] の画面と同様な画面である。図 G.2 に画面の表示例を示す。Frame Dump の場合は、起動時にどのフレームをダンプするか聞いてくる。2 桁の十進数で答えてやれば良い。画面の上でマウスの右ボタンを押すと、メニューが現れる。メニューの項目には、COPY、PRINT、JUSTIFY、FONT、QUIT の 4 つがある。

COPY は、画面のハードコピーをスプールする。スプールされた画面のハードコピーは、この画面を終了した時か、PRINT が選択された時にプリンタに出力される。プリンタの出力には、`jenscript` を呼んでいるので、jenscript が動く環境にあることが必要である。また、環境変数 `PRINTER` も正しくセットしておかなければならない。画面上で [C] を押しても同じことができる。

PRINT は、スプールされている画面のハードコピーをプリンタに出力する。何もスプールされて

---

[1] マウスの左ボタンでクリックすること。

[2] これが WS-QL の一番不便なところだと思っているが、設計段階でこんなふうに作ってしまったので、いまさらどうしようもありません。あきらめて下さい。

[3] これも不便だ

いない状態では、現在の画面のコピーを直ちにプリンタに出力する。画面上で [P] を押しても同じことができる。

JUSTIFY は、ウインドウの大きさを現在のフォントに合わせて調節する。画面上で [J] を押しても同じことができる。テキスト画面でウインドウを小さくした場合、フォントの大きさは変わらないので、画面の一部だけが表示されることになる。どの部分を表示するかは、画面の上でマウスの左ボタンを押して引っ張ることで動かすことができる。

FONT は、フォントの大きさを選ぶ。これを選ぶと、サブメニューが現れて、2x2、5x5、6x10、7x14、8x16、10x20、12x24、16x28、22x36 の中からフォントを選択できる。

QUIT は、この画面を終了する。画面上で [Q] を押しても同じことができる。

G.4.2 モニタカウント画面 (GIS Monitor Screen)

GIS のモニタカウントを表示する画面で、**PH** の [F4] 画面に対応する。図 G.3 に画面の表示例と、使用できるキーの一覧を示す。ウインドウのリサイズには一応対応しているが、あまり小さくしたり、アスペクト比を大きく変えたりすると、字が読めなくなってしまう。見やすい大きさ、色にするために、`~/.Xdefaults` に次の 3 行を付け加えておくのをお勧めする。

```
gismon*geometry:     =579x780+0+80
gismon*Background:   black
gismon*Foreground:   white
```

表示される時間範囲は、[W]/[S] で変えられるが、1024SF 以上にした時の動作の責任は持てない。また、PCAL 時は、L1 しかでないが、手抜きのためカウント数は本当の値の 1/4 が出るようになっている。図 G.3 の例は、途中で PCAL になっているため、カウント数が少なくなっているように見える。もっとも、スケールダウンにはきちんと対応しているはずである。また、表示の最小時間分解能は、すべて 4F となっている。PH モードでは LDHIT が 2F 毎に出力されるが、4F 単位でなまされてしまう。

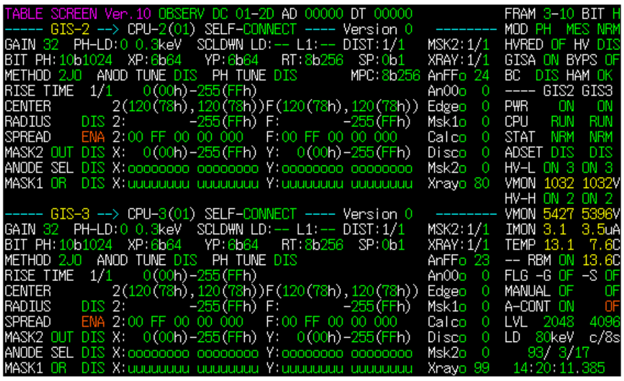
G.4.3 2 次元相関画面 (XP-YP Screen / PH-RT Screen)

XP-YP や、PH-RT の相関図を表示する。**PH** の [F6]、[F8] 画面などに対応する。都合により PH のフルスケールは、1024 ではなく 256 になっているので注意すること。図 G.4 に画面の表示例と使用できるキーの一覧を示す。ウインドウのタイトルには、GIS-2、3 のどちらを表示しているかや、積分開始時刻が表示されている。また、カラーバーのとなりの上下 2 つにわかれている部分は上に現在のカラーバーのフルスケール、下に X、Y のビット数が書かれている。さらにそのとなりのところは、現在マウスカーソルがある位置のチャンネルとカウント数が表示される。また、カラーバーのところでマウスの左ボタンを押して引っ張ることで、色の階調を変えることができる。

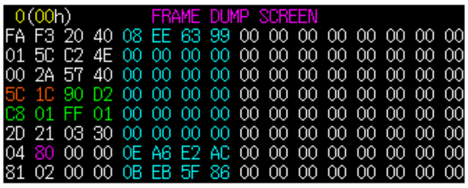
G.4.4 スペクトル画面 (Pulse Height Spectrum / Rise Time Spectrum / ...)

PH、RT のスペクトルを表示する画面で、**PH** の [F7] 画面に相当する。図 G.5 に画面の表示例と使用できるキーの一覧を示す。見やすい大きさ、色にするために、`~/.Xdefaults` に次の 3 行を付け加えておくのをお勧めする。

```
hist*geometry:     =579x430+0+80
hist*Background:   black
hist*Foreground:   white
```

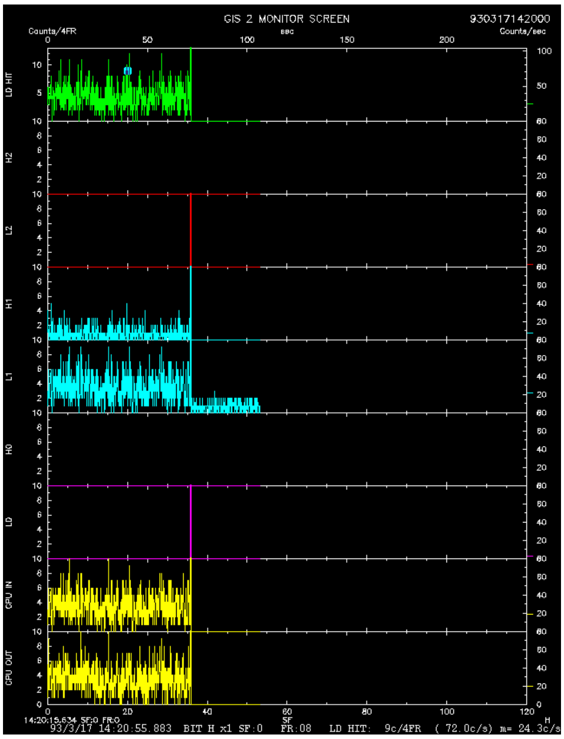


```
TABLE SCREEN Ver.10 OBSERV DC 01-2D AD 00000 DT 00000           FRAM 3-10 BIT H
----- GIS-2 --> CPU-2(01) SELF-CONNECT ---- Version 0   --------  MOD PH  MES NRM
GAIN 32  PH-LD:0 0.3keV  SCLDWN LD:-- L1:-- DIST:1/1   MSK2:1/1  HVRED OF HV DIS
BIT PH:10b1024  XP:6b64   YP:6b64   RT:8b256  SP:0b1   XRAY:1/1  GISA ON BYPS OF
METHOD 2J0  ANOD TUNE DIS  PH TUNE DIS       MPC:8b256 AnFFo 24  BC  DIS HAM OK
RISE TIME  1/1    0(00h)-255(FFh)                      An00o  0  ---- GIS2 GIS3
CENTER        2(120(78h),120(78h))F(120(78h),120(78h)) Edgeo  0  PWR    ON   ON
RADIUS    DIS 2:         -255(FFh) F:         -255(FFh) Msk1o  0  CPU   RUN  RUN
SPREAD    ENA 2:00 FF 00 00 000   F:00 FF 00 00 000    Calco  0  STAT  NRM  NRM
MASK2 OUT DIS X:  0(00h)-255(FFh) Y:  0(00h)-255(FFh)  Disco  0  ADSET DIS  DIS
ANODE SEL DIS X:oooooooo oooooooo Y:oooooooo oooooooo  Msk2o  0  HV-L ON 3 ON 3
MASK1 OR  DIS X:uuuuuuuu uuuuuuuu Y:uuuuuuuu uuuuuuuu  Xrayo 80  VMON 1032 1032V
                                                                 HV-H ON 2 ON 2
----- GIS-3 --> CPU-3(01) SELF-CONNECT ---- Version 0   --------  VMON 5427 5396V
GAIN 32  PH-LD:0 0.3keV  SCLDWN LD:-- L1:-- DIST:1/1   MSK2:1/1  IMON 3.1  3.5uA
BIT PH:10b1024  XP:6b64   YP:6b64   RT:8b256  SP:0b1   XRAY:1/1  TEMP 13.1  7.6C
METHOD 2J0  ANOD TUNE DIS  PH TUNE DIS                 AnFFo 23  -- RBM ON 13.6C
RISE TIME  1/1    0(00h)-255(FFh)                      An00o  0  FLG -G OF -S OF
CENTER        2(120(78h),120(78h))F(120(78h),120(78h)) Edgeo  0  MANUAL OF    OF
RADIUS    DIS 2:         -255(FFh) F:         -255(FFh) Msk1o  0  A-CONT ON    OF
SPREAD    ENA 2:00 FF 00 00 000   F:00 FF 00 00 000    Calco  0  LVL  2048  4096
MASK2 OUT DIS X:  0(00h)-255(FFh) Y:  0(00h)-255(FFh)  Disco  0  LD  80keV  c/8s
ANODE SEL DIS X:oooooooo oooooooo Y:oooooooo oooooooo  Msk2o  0     93/ 3/17
MASK1 OR  DIS X:uuuuuuuu uuuuuuuu Y:uuuuuuuu uuuuuuuu  Xrayo 99   14:20:11.385
```



```
 0(00h)          FRAME DUMP SCREEN
FA F3 20 40 08 EE 63 99 00 00 00 00 00 00 00 00
01 5C C2 4E 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 2A 57 40 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
5C 1C 90 D2 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
C8 01 FF 01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
2D 21 03 30 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
04 80 00 00 0E A6 E2 AC 00 00 00 00 00 00 00 00
81 02 00 00 0B EB 5F 86 00 00 00 00 00 00 00 00
```

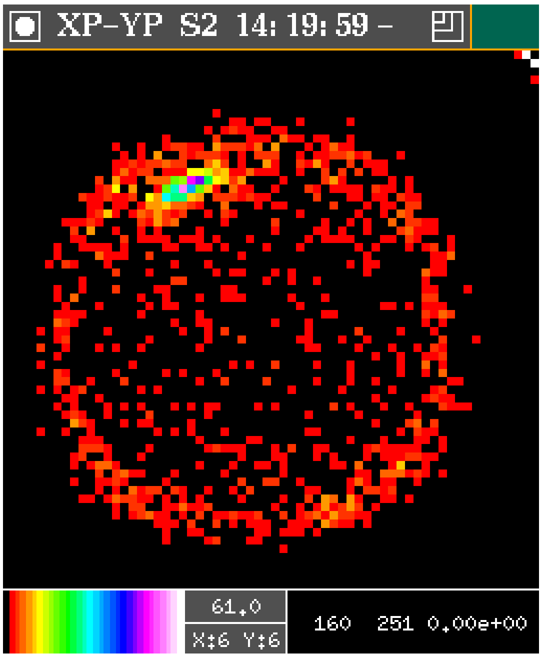
図 G.2　WS-QLCharacter QL 画面 (左) と Frame Dump 画面 (右)



```
93/3/17 14:20:55.883  BIT H x1 SF:0   FR:08   LD HIT:   9c/4FR   ( 72.0c/s) m= 24.3c/s
```

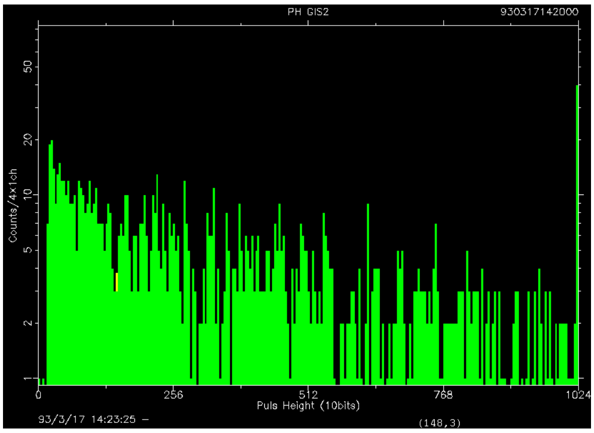
カーソルキー	カーソルの移動 ([SHIFT] で加速)
[G]	GIS-2、 3 の切替え
[P]	ハードコピーのプリンタ出力
[R]	再表示
[I]	カーソル位置の情報の表示
[M]	差分表示、生ワード表示の切替え
[W]/[S]	表示時間範囲を大きくする / 小さくする
[C]	カーソルがあるフレームを画面の左端にして、表示し直す
[<]/[>]	ビンまとめの単位を大きくする / 小さくする
[Q]	この画面の終了

図 G.3　WS-QL モニタカウント画面



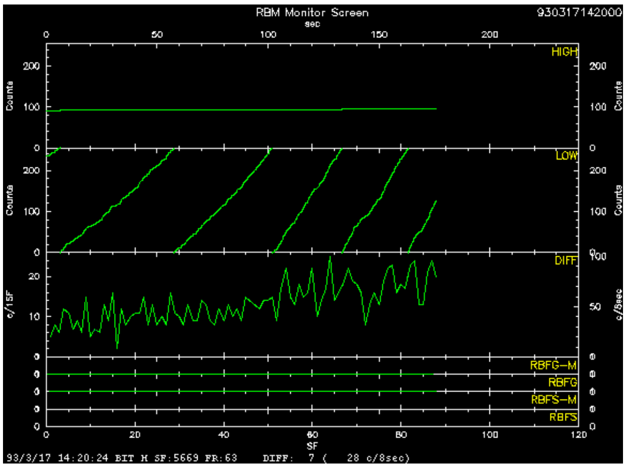
マウス左ボタン	画面の縮小
マウス中ボタン	押したところを画面の中心に持ってくる
マウス右ボタン	画面の拡大
カーソルキー	カーソルの移動
[G]	GIS-2、3 の切替え
[P]	ハードコピーのプリンタ出力
[C]	画面クリア 次のデータが来るまでは効かないので注意
[<]/[>]	ビンまとめの単位を大きくする / 小さくする
[Q]	この画面の終了

図 G.4　WS-QL 2 次元相関画面



カーソルキー	カーソルの移動 ([SHIFT] で加速)
[G]	GIS-2、3 の切替え
[P]	ハードコピーのプリンタ出力
[R]	再表示
[L]	Y 軸 Linear / Log の切替え
[C]	画面クリア 次のデータが来るまでは効かないので注意
[<]/[>]	ビンまとめの単位を大きくする / 小さくする
[Q]	この画面の終了

図 G.5　WS-QL スペクトル画面



```
93/3/17 14:20:24 BIT H SF:5669 FR:63     DIFF:   7 (    28 c/8sec)
```

カーソルキー	カーソルの移動 ([SHIFT] で加速)
[G]	GIS-2、 3 の切替え
[P]	ハードコピーのプリンタ出力
[R]	再表示
[I]	カーソル位置の情報の表示
[W]/[S]	表示時間範囲を大きくする / 小さくする
[C]	カーソルがあるフレームを画面の左端にして、表示し直す
[<]/[>]	ビンまとめの単位を大きくする / 小さくする
[Q]	この画面の終了

図 G.6　WS-QL ペンレコ画面

G.4.5　ペンレコ画面 (RBM Screen / HV Screen)

モニタカウント画面に汎用性を持たせて、ペンレコーダ的に使えるようにした画面。もっとも、どのフレームのどのワードをどのように表示するかのパラメータは、今のところプログラムの中で指定しているので、プログラムのコンパイルができる環境にある人でないと、変更はできない。図 G.6 に画面の表示例と使用できるキーの一覧を示す。

これも、モニタ画面と同様、表示時間幅を 1024SF 以上にした時の動作は保証できない。また、HV Screen の LDHIT は、 PCAL モードや、スケールダウンには対応していないので注意してもらいたい。左側のスケールは、フレームデータの生の値を示しているので、通常の値に変換した値は、右側のスケールで読むこと。

G.5　うわさ

聞くところによると、以下のような不都合があるようです。

- KSC のプリンタでは、 2 次元画面のプリンタ出力がうまくいかない。
- みすぼらしい X-Window 環境では、フォントがなくてカーソル位置の情報が出なくなったり、テキスト画面のフォント選択がうまくいかなくなる。
- (RUN) 中に新しく画面を開くとよくこける。ポーズをかけて開くとうまくいく時もある。
- たまに暴走して、ひたすら CPU 時間を食い続ける。こんなときは `kill` コマンドを使ってプロセスを消す必要がある。
- モニタ画面などでカーソルが良く見えない時がある。

付録 H

DL の開始時刻の指定方法

GIS 関係者の皆様へ

池辺さんから、次のような質問がありましたので、現在のテレメトリデータの指定方法について説明します。

池辺>> giphs などで特定の時間を１分だけ正確に切り出す方法はありますか？

giphs は、現在のところ、

1．gi 形式のファイル　（ 上條マップのデータ ）
2．テレメトリファイル　（ inazuma:/astrod/real/ にあるようなデータ ）
3．FRF　（ /xray/d1/frf/ にある ）
4．PH.EXE log ファイル　（ 熱真空で使っていたやつ ）

に対応しています。

1．については、ファイル名を指定し、ファイルの途中からというようなことはできません。

2．は、 [rs]yymmddhhmmss[.msec] あるいは、 [rs]yymmddnnnn （ pass number ）というような指定ができます。先頭の ’r’ あるいは ’s’ は、

/astrod/real/	リアルデータ
/astrod/stor/	プレイバックデータ（ KSC にしかない ）

のどちらを読みにいくかを指定します。ただし、データファイルの中で，時間が逆転しているような場所があると、時刻指定は正常には働きませんので注意して下さい。

時刻指定をした場合は、時刻の後に、’+’ あるいは ’-’ をつけて次のように続けることで、サブフレームの切り出しの終了条件をつけることができます。

-yymmddhhmmss[.msec]	終了時刻指定
+offset	offset は、 1h10m4s （ 1 時間 10 分 4 秒 ）のように指定できる

ただし、あくまでもデータの切りだしはサブフレーム単位で行なうので、それ以下の時間分解能で切ることはできません。同様に、 +1m を指定しても、1 分きっかりのデータが切り出されるとは限りません。

パスナンバー指定をした時は、その後に ':' をつけて、切り出すサブフレーム番号を指定できます。例えば、

```
        r9303171136:-20,40-50,60-        0-20, 40-50 および 60SF 以降を切り出す
```

3, 4 も、2 と同様な時刻指定ができます。ただし、FRF では 2 つ以上の FRF ファイルにまたがってデータをとり出すことはできません。

gisdump なども同じテレメトリデータ読み込みルーチンを使用しているので、上と同じような指定ができます。

石崎

GIS 関係者の皆様へ

かねてから要望のあった、sfopen での複数時間領域の指定ができるようになりました。指定方法は、これまでの指定方法を、',' で区切って並べます。
例えば、

```
930317142000+1m,930317142500+30s
```

というふうにします。

指定領域が多過ぎて、書くのが面倒だ、あるいは、giphs でできるファイル名が長過ぎて煩わしいという人のために、間接ファイル指定もできるようになりました。
例えば、region.set というファイルに、

```
930317142000+1m #region-1 <-- '#' 以降はコメント
930317142500+30s #region-2
```

と書いておけば、@region.set と指定することで上と同じ指定ができます。

石崎

付録 I

軌道上での GIS

ASTRO-D は 1993 年 2 月 20 日午前 11 時に KSC より打ち上げられ、無事、近地点高度 523.6 km、遠地点高度 615.3 km、軌道周期 96.09 分の周回軌道に乗り、「あすか」と命名された。その後、衛星は大きなトラブルや機器の故障もなく運用が続けられ、7 月現在にいたっている。

GIS は 3 月 2 日に GIS-E に電源が入り、翌 3 日にプログラムロード、CPU スタートが行なわれた。高圧電源は 12、13、14 日の 3 日間をかけて慎重に入れられ、HV-L は level-4 1114V、HV-H は level-3 -6000V まで正常に動作することが確認された。そして、3 月 17 日、**GIS** が初めて X 線源 (X0748-676) を視野の端にとらえることができた。この日の運用では、**GIS** によって X0748-676 の eclipse も観測されている。**GIS** がとらえた X0748-676 の像とスペクトルを図 I.1に示す。その後、ファインゲインや各種のモードが設定され、4 月ごろからほぼ定常観測に入っている。

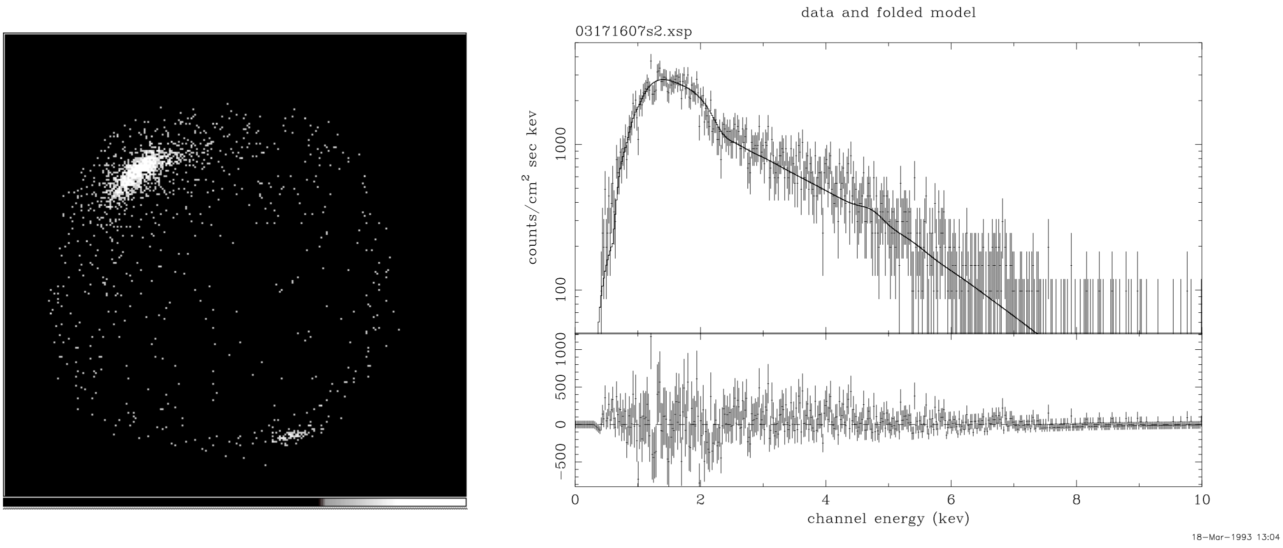


図 I.1 **GIS** で見た X0748-676 の像 (左) とスペクトル (右)

左上に見えるのが X0748-676、右下にあるのはキャリブレーション用 ^{55}Fe ソースである。

参考文献

[1] 「宇宙科学の最先端」、1988、朝日出版社

[2] 「科学衛星 **ASTRO-D** 中間報告書」、1991、宇宙科学研究所 SES データセンタ-

[3] 「科学衛星 **ASTRO-D** 実験計画書」1.3 章 **GIS**、1993、**GIS** チーム

[4] 三原 建弘、修士論文「**ASTRO-D** 搭載用 **GIS** 信号処理系の開発」、1990、東京大学

[5] 池辺 靖、修士論文「衛星搭載用 **GIS** 装置の軟 X 線特性試験」、1992、東京大学

[6] 明星電気、Fe55 – BKG、Fe55 – Cd109 混同問題に対する不具合報告書、1992

図目次

表目次