

はじめに

平成13年11月12日午前11時、スーパーカミオカンデ装置に使用している50cm径光電子増倍管11146本のうち約60%が数秒間で破壊された。このため、スーパーカミオカンデ実験が行っている一連のニュートリノ実験は当分の間停止せざるを得なくなった。

本報告書は、事故の経緯、被害状況、観測データ、原因の推測等からなり、事故原因究明等委員会その他関係各位機関への情報提供のために作成するものである。内容は11月22日時点のもので、今後随時更新される。

1. 事故発生の経緯

スーパーカミオカンデ（SK）は、平成13年7月中旬より増倍管交換作業を行ない、作業を9月中旬頃までに終了し、注水を9月18日から行なっていた。11月12日朝には、タンク底より31.7mの深さ（タンク全体の約3/4）まで、超純水が入っていた。この日、SKでは、順調にデータを取り続けていた。（資料：坑内位置図）当日は、当番のための研究者1名が午前8時より入坑し、データ取得の監視を行なっていた。また研究支援推進員2名（以下推進員A、推進員Bと記す）が午前9時に入坑し、タンク上部、SK入口の清掃を行なった。

午前11時1分30秒頃、研究者、推進員Aは、轟音を伴う激しい揺れを感じた。この時、研究者はコントロール室、推進員Aは、タンク端から1-2メートルの場所にいた。推進員Bは、坑口から坑内へと弁当を運んでいた。轟音は、約5-10秒間と感じられた。（資料：古田）推進員Aは、最初は小さな音だったが、だんだんと音が大きくなっていくのを感じた。また、音が大きくなった時には、風圧も感じ、タンク上のクリーンルーム（これはタンクへの入口の上に設けられている）を囲うビニールシートが膨れ上がるのを見た。後日、SKから8.8km離れた場所にある防災研究所の地震計がSKの事故を捕らえていたことがわかった（資料：地震波）。この図から、増倍管破損事故による震動は、約5秒間続いていたことがわかる。

2. 事故直後の処置

轟音を聞いた直後、スーパーカミオカンデの現象の頻度が極めて高くなった。通常、頻度が10Hz位であるところが、事故直後、100万Hz以上に上がっていた。（資料：トリガーレート）研究者は、光電子増倍管の高電圧を切るために各エレクトロニクスハットへ行き、高電圧発生装置の電源を切って行った。推進員Aは、タンクの周り、SKの入口周りの点検を行なったが、異常は見られなかった。推進員Bが坑内に到着したため、研究者は、「注意しながら、斜坑を降り、SKからの大きな水漏がないかどうか調べるように」と命じた（斜坑とは、SKの底部に至るSKの周りに掘られた坑道のこと）。推進員Bは、点検に行き、斜坑に変化は見られないことを確認し、研究者に伝えた。

11時40分頃、研究者、推進員Aの2名は、タンク入口に被せてあった黒シートを

開け、中を見たところ、水の濁りと水中にある側部増倍管に異常が見られた。研究者、推進員 A は、ゴンドラに乗ってタンク内に入り、水面下約 6 段以下の側部増倍管において、ガラスが割れて、増倍内部の部品が飛び出していることを発見した。(資料：写真 1 , 2)

研究者は、神岡施設長が海外出張中だったため、柏へ出張中の研究部主任に電話連絡をした。12 時頃、注水中だった純水装置の運転を停止した。研究棟にいる他の職員に連絡し、被害状況の把握のために、すぐ入坑するように命じた。13 時頃、内水槽に水中カメラを降ろし、内水槽側面、底面増倍管の破損状況を調査した。14 時頃、水位計をタンク内部に設置し、水位の計測を開始した。15 時頃、外水槽にゴンドラで入り、破損状況を確認した。16 時頃、水中カメラを外水槽に降ろし、増倍管の破損状況を調査した。19 時頃、再び、内水槽に水中カメラを降ろし、残存増倍管の数をおおまかに数えた。

3 . 被害状況 (被害状況取得方法も)

3 - 1 内水槽関係

ア 光電子増倍管 (資料：R3600-5)

事故直後に内水槽側壁付近の点検穴より水中カメラを挿入し、被害状況をテレビモニタ上で確認し、およその残存数を数えた。水深約 5 m 以上の個所では、ほとんどの光電子増倍管のガラス部分は完全に吹き飛び、中の金属電極部分が側壁から突出し、ぶら下がっている状態である。以下 3 種類のステップに分け、光電子増倍管の被害本数を調べた。

ア-1)形状の損傷

(方法) 11 月 14 日には内水槽側壁全周をボートで回り、水面上から破損状況を目視した。大部分の破損した光電子増倍管はガラス部分が吹き飛んでいる。数本の光電子増倍管については、原型を保っているが真空漏れを起こした特有の症状である光電面の透明化を見せていた。これらについては破損として数えた。なお水の透明度が悪いため、水深約 15 m 付近より深い位置の状況については目視が困難であるが、深い位置の光電子増倍管はほとんど全数破壊されていると考えられるため、誤差は数本と見られる。

底面損壊数：1748 本 (全 1748 本)

側面損壊数：4917 本 (全 7650 本)

上面損壊数：0 本 (全 1748 本)

合計損壊数：6665 本

ア-2)プリーダー抵抗値チェック

	目視で正常	目視で異常	ガラス白い
抵抗正常	4449	2*	0
抵抗異常	15	6651	12

* 目視異常抵抗正常 2 本の内 1 本は大深度のため目視間違い。他の 1 本も目視間違いの可能性大。

ア-3)信号の確認

	目視で正常	目視で異常
信号正常	4 3 4 0	2
信号異常	1 1 4 *	0
その他	2 5 **	0

* 光球 8 7 本、高ノイズ 1 0 本

** 進入口場所 P M T 等計測できないが正常球

アー 4) 結論

破壊された光電子増倍管 : 6 7 7 9 本、
 破壊されていない光電子増倍管 : 4 3 6 7 本
 計 : 1 1 1 4 6 本

(資料 : 側面破損状況) に側面における破損状況を示す。

現時点におけるスーパーカミオカンデ稼働状況を (資料 : 稼働状況) に示す。宇宙線ミューオンによるヒットマップと、宇宙線ミューオンのイベントディスプレイの 1 例である。また、キセノン光源による増倍管のゲインチェックも行っている。

イ ケーブル

調査中。ただし損壊増倍管に使用されているケーブルの相当数は使用不能と思われる。

ロ タンク及び架構

ロー 1) タンク、山体の異常

(方法) 事故直後に斜坑道、底部マンホール付近、を目視点検。異常箇所なし。事故直後、外水槽点検口にあるスライド式の防護ネットの開閉が困難になり、点検口変形の可能性を示唆。1 1 月 1 4 日にタンク天板上外周部を目視点検。異常箇所なし。1 1 月 1 8 日に増倍管 1 0 8 1 0 (後述) 近傍の側壁、底面を水中カメラで目視。破損、水流、岩石の存在は、なかった。

(結論) 大きな異常箇所はない。排水時に検査が必要。ただし漏水がある。(後述)

ロー 1) タンク架構の異状

(方法) 事故直後に底部および側部架構付近の破損状況を水中カメラにより目視

(結論) 内水槽ブラックシートはほとんどが脱落。タイベックシートはまくれあがった箇所もあるが、少なくとも 5 0 % 以上は脱落せず残っている。P M T 取り付けバンドは多くが変形。ところどころ脱落。取り付けバンドのつく 3 個モジュールフレームに脱落はないが、ところどころ変形が認められる。側面架構および、底面架構自体に脱落、変形はまったく認められない。

ロー 2) 水位変化

(方法) 事故翌日から、ボート上から水面を直接スケールにより継続測定。

読み 積算変化 水位低下速度

11/13 9:09	39mm	0 mm	
11/13 10:54	35mm	4 mm	
11/14 8:20	-17mm	56 mm	2.4 mm/h
11/15 14:09	-100mm	139 mm	2.8 mm/h
11/16 15:20	-178mm	217 mm	3.1 mm/h
11/17 15:15	-257mm	296 mm	3.3 mm/h
11/18 14:25	-340mm	379 mm	3.6 mm/h
11/19 17:45	-426mm	465 mm	3.2 mm/h
11/20 18:10	-518mm	557 mm	3.8 mm/h

(結論) 3.1mm/時の水位低下が認められる。3.7トン/時の水流失に相当。タンクライニングの一部破損を示唆する。(資料：水位)

なお、事故前に漏水検査はしていないが、水位計記録及び取得データから漏水はなかったと考えられる。

ハ 信号用電子回路

(方法) A T M回路の自己較正機能を用いて、ペDESTALデータランを行った。

(結論) 異常が認められたのは2チャンネル(全11232チャンネル)。信号用電子回路に問題は認められない。

ニ 高電圧電源

(方法) 接続されている高圧ケーブルをすべてはずし、高電圧電源単体で規定電圧を印可できるかチェックした。

(結論) 2チャンネル(事故以前から規定電圧まで昇圧できなかったチャンネル)(11129中)本事故による被害はなかった。

ホ 水

(方法) 事故後約21時間後に6サンプルを取得。

(社)静岡県環境産業センター、神岡鉱業(株)(有)神岡衛生社に於て水質検査。

サンプルは水面直下タンク中央、水面直下側面付近2箇所、タンク中央底面から約9m上、タンク中央底面から約2m上×2瓶(資料：サンプル場所)

(結果：資料：水質)

一例として(社)静岡県環境産業センターの計測結果を示す。

6価クロム： 6サンプル全てについて検出感度の0.005ppm未満

全クロム： 6サンプル全てについて検出感度の0.01ppm未満

マンガン： 6サンプル全てについて検出感度の0.01ppm未満

アンチモン：

水面原点 0.003ppm未満

水面x点 0.003ppm未満

水面y点 0.003ppm未満

- 30m原点 0.010ppm
- 37m原点 0.015ppm
- 37m原点 0.015ppm (もう一つのサンプル)

参考のために水質基準を(資料:水質基準)に置いた。

3-2 外水槽関係(責任機関:アメリカ)

ア 光電子増倍管

ア-1)形状の損壊

(方法)側面破損状況を外水槽点検口から水中カメラで目視

(結論)内水槽とほぼ同じく水深5m以上のところではほぼ全数破損が認められる。目視による数の勘定は行っていない。

ア-2)電圧印可チェック

(方法)高電圧印可装置でひとつづつ100Vの電圧を印可して電流値を測定し、異常な値(0もしくは最大電流異常)を示したものを、損壊したものとして勘定した。

(結論)当該事故での損壊数:881本(全1885本)(以前から知られた異常増倍管数 56本)

ア-3)信号のチェック

信号テストの結果新たに136本が故障。本事故による合計損壊本数は1017本となる。

(資料:OD残存増倍管のマップ)

イ ケーブル

調査中

ロ タンク及び架構

(方法)側面破損状況を外水槽点検口から水中カメラで目視

(結論)一部ウェープレングスシフターボードの破断確認、側部架構側タイバックシートは一部めくれたりしているが大幅な脱落は認められない。タンク側壁タイバックは無事。架構に問題は認められない。

ハ 信号用電子回路

調査中

ニ 高電圧電源

160枚の高電圧カードの内7枚が故障。

4. 爆発時に取得された信号データ

4-1 最初の増倍管のイベントディスプレイとその時間変化

9月末の純水注入開始から事故発生時間直前まで、データ取得は継続的に行われ

ていた。事故発生直後には、現象の頻度が通常 10Hz 位であるところが 100 万 Hz 以上に上昇した（資料：トリガーレート）。このため、正常なデータ取得は不可能となり、まもなく停止した。事故約 6 時間後、データ取得コンピュータから、頻度上昇直後約 30 ミリ秒の間に取得されたデータについて復旧を試み、断片的ながらも事故に関係すると見られる現象を再構成した。以下にそれを記す。

4-1-A 現象頻度の推移

（資料：トリガーレート）は、事故前後での時間変化を異なる 4 種の情報に対してプロットしたものである。スケーラーからプリントアウトされたもので、データ自体は残っていない。

上から 1 段目と 2 段目がスーパーカミオカンデ内水槽で起こった異なる 2 つのエネルギー閾値の事象頻度、3 段目が外水槽での頻度を示す。事故発生以前少なくとも 24 時間に関しては事象頻度は一定で、正常であった。事故発生と見られる 12 日 11 時 1 分に一斉にはね上がっているのがわかる。事故発生数分後、研究者が高電圧を切ったところ、頻度は数ヘルツまで落ちた。

4-1-I 事故発生時のスーパーカミオカンデのデータと解釈

（事象の概観）

事故発生中にスーパーカミオカンデで実際にデータとして取得できた事象をいくつかあげる。非常に高い頻度でデータ取り込み要求が起こったため、データ取得回路の制限からイベントを正常に取り込むことはできず、一部ブロック、または大部分の増倍管データが欠けている。またデータ転送中には新たなデータを取り込めないため、頻度上昇後 30 ミリ秒中、データが間欠的にしか取得できず、頻度上昇後 0-1 ミリ秒、3-16 ミリ秒、26-27 ミリ秒、29-30 ミリ秒のみデータが存在する（資料：イベントレート）。

頻度上昇後最初の事象（11211-921342）の時刻は 11 時 01 分 29 秒で、この直前のイベントは 77 ミリ秒前に起きており、通常のミュオンであった。頻度上昇後最初の事象のイベントディスプレイを（資料：イベント 921342）に示す。底部光電子増倍管の側面寄り付近を中心にヒットのクラスターが出来ているのがわかる。この事象において最大の光量をもつ増倍管番号は 10810 である。（資料：イベント 921342 拡大）は、増倍管番号 10810 の周りを拡大したものである。これら各増倍管からの信号は、過去の発光現象をもとに考えると、10810 かその直近の増倍管 1 本が発光をはじめた可能性が非常に高い。

この後、増倍管 10810 付近を中心としたクラスター事象が数イベント、約数マイクロ秒間隔で起こっている。（資料：921343）から（資料：921345）およびその拡大図もそれぞれ示した。以後比較的ヒット数の少ないノイズ状のイベントが頻度上昇後 0.4 ミリ秒まで続き、その後データ取得は一時中断する。頻度上昇後 3.8 ミリ秒後にデータ取得再開後は、ほぼ全数の増倍管が信号を出す事象が多くなっている。頻度上昇後 5.27 ミリ秒後の事象（11211-921483）では、増倍管 10810 付近を中心として上方に向けて激しい放電光が観測されている（資料：イベント 921483）。この事象パターンは大気ニュートリノの解析等に於て、増倍管の発光現象（光球）として知ら

れる事象に特徴的なパターンである。

したがって、これら増倍管の信号は光によるもので、この時点ではタンクの大部分の増倍管は正常に作動していたと考えられる。

(結論 1 : 事故の原因箇所特定について)

頻度の爆発的上昇後数ミリ秒にとられたデータから、増倍管 10810 を中心とする左右上下各 1 本、計 9 本が関わる特徴的な事象パターンが多く見られた。

これらの事象は、本事故の発端となった最初の増倍管 1 本の爆縮を示している可能性が最も高い。

(結論 2 : 衝撃の全体像)

光電子増倍管が爆縮を初めてから、実際につぶれるまでの時間スケールは、およそ 10 ミリ秒である。すなわち、ある増倍管の爆縮がとなりの増倍管の爆縮を引き起こすには、10 ミリ秒程度はかかることを意味する。したがって、事象頻度上昇後 10 ミリ秒までは、ひとつかその周辺ひとつ分の増倍管が壊れているだけであると考えられる。このことは、5.26 ミリ秒後のイベント(資料: イベント 921483)においても、本事故のごく初期段階を見ていることになり、また、原因と考えられる増倍管以外のほとんどの増倍管が光信号に反応する状態であったことを意味する。したがって、記録されたデータから破壊が全体に及ぶ情報を得ることができなかった。

4 - 2 最初の増倍管のシングルレート等のデータやトリガーレート

最初に爆縮した増倍管を増倍管 10810 の周辺と特定し、事故前の増倍管のシングルレートの変遷を(資料: シングルレート)に示す。どの増倍管も明らかに異常な振る舞いは認められない。

4 - 3 最初の増倍管の履歴

底面の増倍管の位置を(資料: PMT 配置図)にしめす。増倍管 10810 は赤点で示してある。増倍管 10810 を中心に周辺 ± 1 個の範囲にある 9 本についてのテーブルを以下に記す。(図は、(資料: 増倍管 10810 周辺)に示す。)この 9 本のうち今回の作業で交換された増倍管は 10850 の 1 本である。

増倍管番号	増倍管シリアル	取り付け位置	履歴
10767	CD7089	1BP6P3C-W	
10768	AB7389	1BP7P3C-U	
10769	CD7048	1BP7P3C-V	
10809	AB5293	1BP6P3D-W	01/8/30 交換作業時作業者加重
10810	GJ4324	1BP7P3D-U	01/8/30 交換作業時作業者加重
10811	GJ4067	1BP7P3D-V	

10850	AB7979	1BP6P4A-W	01/5/30, 6/2, 6/5, 6/12 測定作業 01/8/30 交換作業
10851	GJ4198	1BP7P4A-U	01/8/30 交換作業時作業者加重
10852	KM4188	1BP7P4A-V	

4 - 4 その他

5 . 最初の P M T が破壊された原因の推測

以下に事故原因と考えられる事項、それに関するデータ、コメント、および今後の調査項目を列挙し、11月22日現在わかっている限りの情報を示す。

5 - 1 外的要因

ア 坑内の発破作業

11月12日の坑内における発破作業は行なわれていない。

イ 岩盤変化

岩盤の変化に伴い増倍管に対して破壊に至るような外的応力がかかった可能性。

地中変位形のデータは事故直前直後には存在しない。11月19日の週に岩盤計測データを採取した。(結果まだ) ただし地中変位の経時変化のデータによれば、岩盤の急激な変形や破壊に至るような挙動は、掘削工事完了後、2001年3月時点まで全くない状況である。

神岡鉱業の調査では、スーパーカミオカンデ周囲の岩盤状況に異常はない。また、スーパーカミオカンデ空洞とその周囲の坑道、スーパーカミオカンデ水槽底向下り斜坑、跡津通洞坑道、北20号斜坑等、観測施設近傍の坑道の岩盤状況に異常はない。

水位観測井による地下水位の測定結果によると、スーパーカミオカンデ周囲岩盤内の地下水位に大きな変動はない。(資料：地下水位)

茂住坑南東部下部開発エリアの地下水位は約-503 m レベルで変動はなく地下湧水量にも変動はない。東4号掘場エリアの地下湧水は、湧水期であるため、-500 m レベルへの湧出はなく、地下水位も安定している。

(コメント)

以上のデータにより、岩盤変化による可能性は低いと考えられる。

ウ 山はね等によるタンク、構造体の突発的変形

山はね等によって岩石がステンレス板を破って架構に衝突し、その衝撃で増倍管が破壊された可能性。底面、側面下部に岩石が散乱しているはずであるが、増倍管10810付近には、このような異常は見られなかった。

(コメント)

通常、山はねは圧力を解放した時に起こる。今回のような水張り中(圧力印可中)に起こる可能性は低いと考えられる。

エ 底面ステンレス板とアンカーボルトとの溶接部分が一部破断した際の衝撃

増倍管交換作業にあたり、タンク水を8月25日までに完全に抜ききった。その際、タンク底板下に地下水による若干の水圧が残り、底面ステンレス板の数カ所から、水の吹き出しが見られた。特に（資料：底面水噴き出し箇所）に示す場所からは、（資料：底面水噴き出し写真）に示すような噴き出しが見られた。8月28日朝、この水が噴き出している箇所に詰め物をして、水の噴き出しを止めた。それを行なった数時間後、噴き出し場所から+ Y 方向に向けて、数カ所で底面ステンレス板と固定用アンカーボルトとの溶接が破断し、底面の一部が一気に数cm跳ね上がった。このアンカーボルトは、ステンレス板同士を溶接する際の仮止としてコンクリート内に打ち込まれている物であり、タンク構造体を支えるための物ではないが、一気に跳ね上がった際に衝撃が発生し、原因増倍管にストレスがかかった可能性。

（コメント）

直ちにタンク構造体の目視検査を行なったが構造体に異常は見つからなかった。また、跳ね上がりの際に増倍管が割れるような事故は起きなかった。

オ 上から工具等が自然落下した。

（コメント）

増倍管交換作業は、9月中旬に終了しており、工具等もかたづけられていた。また、この時間はタンクを締め切ってデータを取得していたため、この可能性は、非常にありえない。

5 - 2 光電子増倍管に起因する原因

5 - 2 - 1 原因球が交換されなかったものの場合（10810またはその直近）

ア 改修作業起因

底面作業では、増倍管上に発砲スチロールボードを置き、作業者はその上を歩きつつ改修作業を行った。その際に原因増倍管にストレスを与えた可能性。

底面改修作業では、増倍管の上に置かれた発砲スチロールボードを通路として使い、交換すべき増倍管の場所に作業者が移動した。（資料：底面作業写真、資料：底面ボード配置図）は、そのためのボード配置図を示す。増倍管交換の際には、中心がくりぬかれたボードを当該増倍管を取り囲む増倍管の上に置き、故障増倍管の取り外し、新しい増倍管の取り付けを行った。増倍管交換後、交換されていない増倍管も含めてすべての増倍管を清掃した。その際、発砲スチロールボードを（資料：底面清掃用ボード配置図）のように並べて、清掃作業を行った。

（コメント）

底面における作業では上に述べたように増倍管に荷重がかかるので、作業前に十分な実験を行い、増倍管の破壊等が起きないことを確認した。

（資料：底面作業実験）を参照。

イ 加圧減圧過程に伴うストレス

ウ 温度変化に伴うストレス

エ 水中経年変化

オ 加圧中経年変化

5 - 2 - 2 原因球が交換されていたものの場合 (1 0 8 5 0)

ア 改修作業起因

5 - 2 - 1 アと同じ。

イ 耐圧力性能

増倍管の耐圧は抜き取り耐圧試験により 6 気圧以上に耐えることが示されている。しかしまたまたガラス容器の成型が悪く、耐圧性能の低い増倍管が混入し取り付けられてしまった可能性。

(コメント)

増倍管出荷時に 9 5 本に 1 本の割合でサンプルを取り、計 1 5 1 本の水圧検査が行われている (6 . 5 気圧 2 4 時間放置後増倍管の精密検査)。このうちクラックによる水漏れが 1 本あった。ただし、当増倍管には 7 気圧の水圧がかかってしまい、それによるクラックと結論され、6 気圧耐圧の仕様は満たしていたと結論された。

ウ バンドの取り付け不良により増倍管が浮き上がり隣と激突

増倍管はステンレス製帯板の内側にゴムを接着したバンドを巻き付け、ネジで締め付けることによりゴムとガラスの摩擦で固定されている。このネジの締め付け不良、またバンドが増倍管の対称軸に対して垂直に取り付けられていないために緩みが生じ、浮き上がり、ケーブルが引っかかるなどして、横に振られ、隣接する増倍管と激突して爆縮にいたった可能性。

(コメント)

浮力は水深に依らないので、このような取り付け不良があれば、もっと水の少ない段階で浮いたはずである。9 月 2 3 日に研究者が水中下にある底面増倍管をすべてチェックし、浮き上がりの異常がなかったことを確認した。

エ バンドの取り付け不良によるストレス

増倍管のバンド締め付け位置は、増倍管の接合部分に近接している。バンド締め付け位置がこの接合部にかかり、もともと弱い接合部にさらにストレスがたまった可能性。

(コメント)

バンド取り付け位置は、接合部の下約 1 c m であり、そこではガラス表面が平らになっているため、この可能性は少ない。

オ 運搬時、取り付け準備時のストレス、クラック

交換用増倍管はゲイン較正用の増倍管として、取り付け作業直前に4日間測定作業を受けている。この間ミスによりなんらかのストレス、クラックを受けた可能性。

坑道奥の保管場所から測定場所、取り付け作業場所に運搬する間にミスによりなんらかのストレス、クラックを受けた可能性。

(コメント)

測定作業及び清掃作業は、すべて研究者と大学院学生によって注意深く行われたので、このようなクラック等があれば発見されるはずであり、それを放置する可能性は極めて少ない。

カ 保管時の経年変化、熱ストレス

交換用増倍管はS K建設終了後数年坑道奥に保管されていた。この保管場所の環境(低温、高湿度等)によりガラス強度が劣化していた可能性。

5 - 3 PMTに関して今後行うべき試験

資料：PMT試験

6 . 他のPMTが連鎖的に破壊された原因の推測

6 - 1 衝撃波

最初の増倍管の破壊による衝撃波により、連鎖反的に破壊が起った可能性。

(コメント1)

スーパーカミオカンデの前身であるカミオカンデ装置建設に際し、プールの約1m水深下に6本の増倍管を設置し中央の1本を破壊して衝撃によって破壊が伝播するかどうかの試験を行った。この簡単な実験では破壊の連鎖反応は起こらなかったため、カミオカンデでは衝撃波対策は取らなかった。(資料：衝撃波試験、1981年)

(コメント2)

10年以上のカミオカンデ連続運転の実績を考慮して、スーパーカミオカンデ設計時に衝撃波対策は考慮しなかった。

6 - 2 機械的振動

最初の増倍管からの衝撃波により近傍の増倍管が激しく揺られ相互の衝突により機械的に破壊されていった可能性。

6 - 3 衝撃波に関して今後行うべき試験

ア 水圧下における増倍管破断試験

イ 衝撃波のシミュレーション

簡単なモデルによる衝撃波伝搬の様子を資料に示す。(資料：衝撃波シミュレーション)
これは、増倍管を体積60リットル、半径24、3cmの完全球体、完全真空状態であるとしている。水面下30メートルを仮定。資料には、増倍管爆縮後衝撃波が球中心から広がっていく過程の各位置での衝撃圧力、増倍管破壊時に球体周辺の水が増倍管中心に向か

っているとき、各位置での流束の変化、の結果が示されている。

ウ その他

(資料：原因究明のまとめ)

資料

坑内位置図
古田
地震波
トリガーレート
写真 1 , 2
R 3 6 0 0 - 5
側面破損状況
稼働状況
水位
サンプル場所
水質
水質基準
OD 損壊増倍管のマップ
イベントレート
イベント 9 2 1 3 4 2 等
シングルレート
P M T 配置図
増倍管 1 0 8 1 0 周辺
地下水位
底面水噴き出し箇所
底面水噴き出し写真
底面作業写真
底面ボード配置図
底面清掃用ボード配置図
底面作業実験
P M T 試験
衝撃波試験、 1 9 8 1 年
衝撃波シミュレーション
原因究明のまとめ

坑内位置図

縮尺1:2000

旧事務所 N

北20号斜坑

カムランド

水槽底向下り斜坑

SK

重力波

第1純水装置

暗黒物質

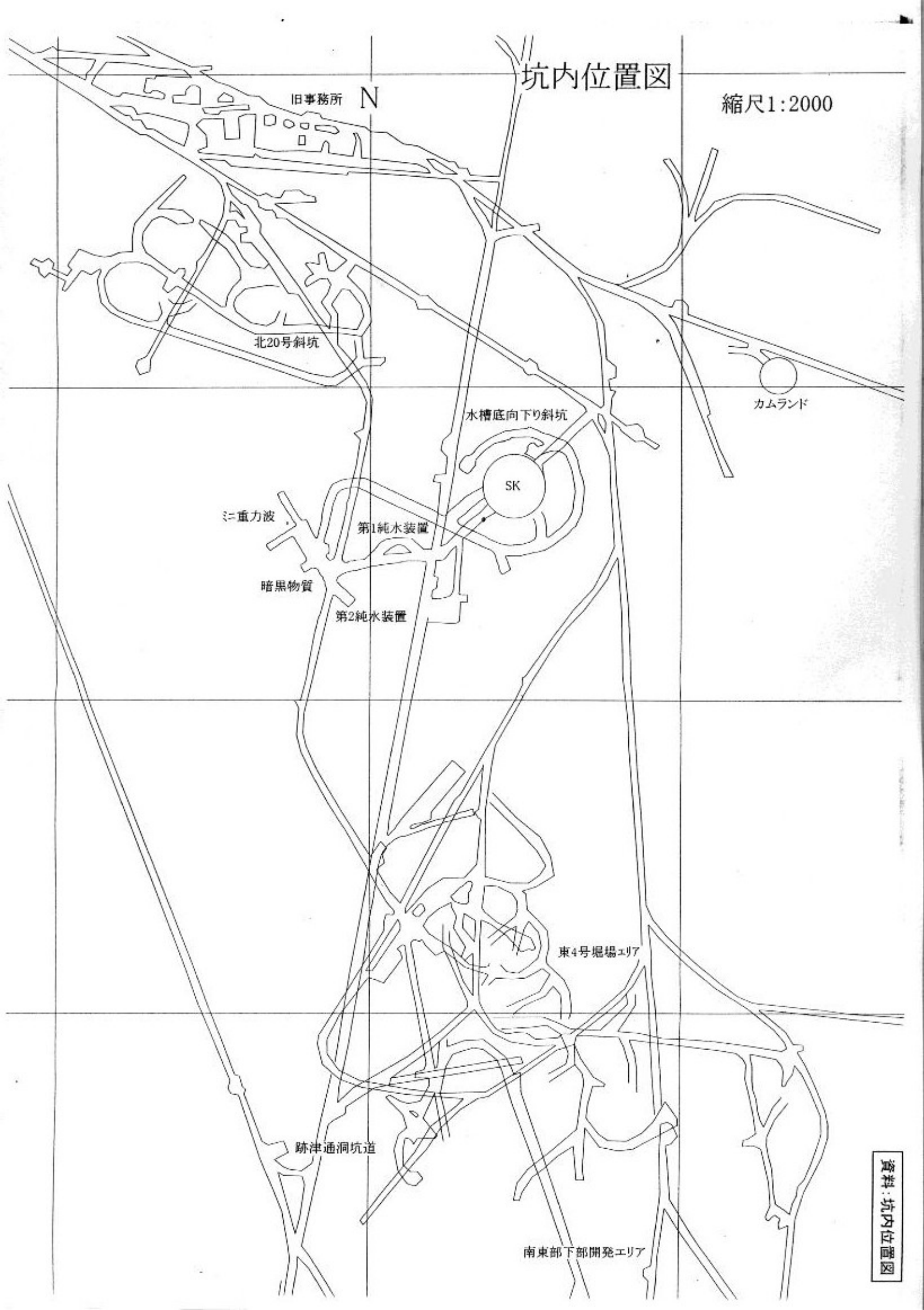
第2純水装置

東4号掘場エリア

跡津通洞坑道

南東部下部開発エリア

資料：坑内位置図

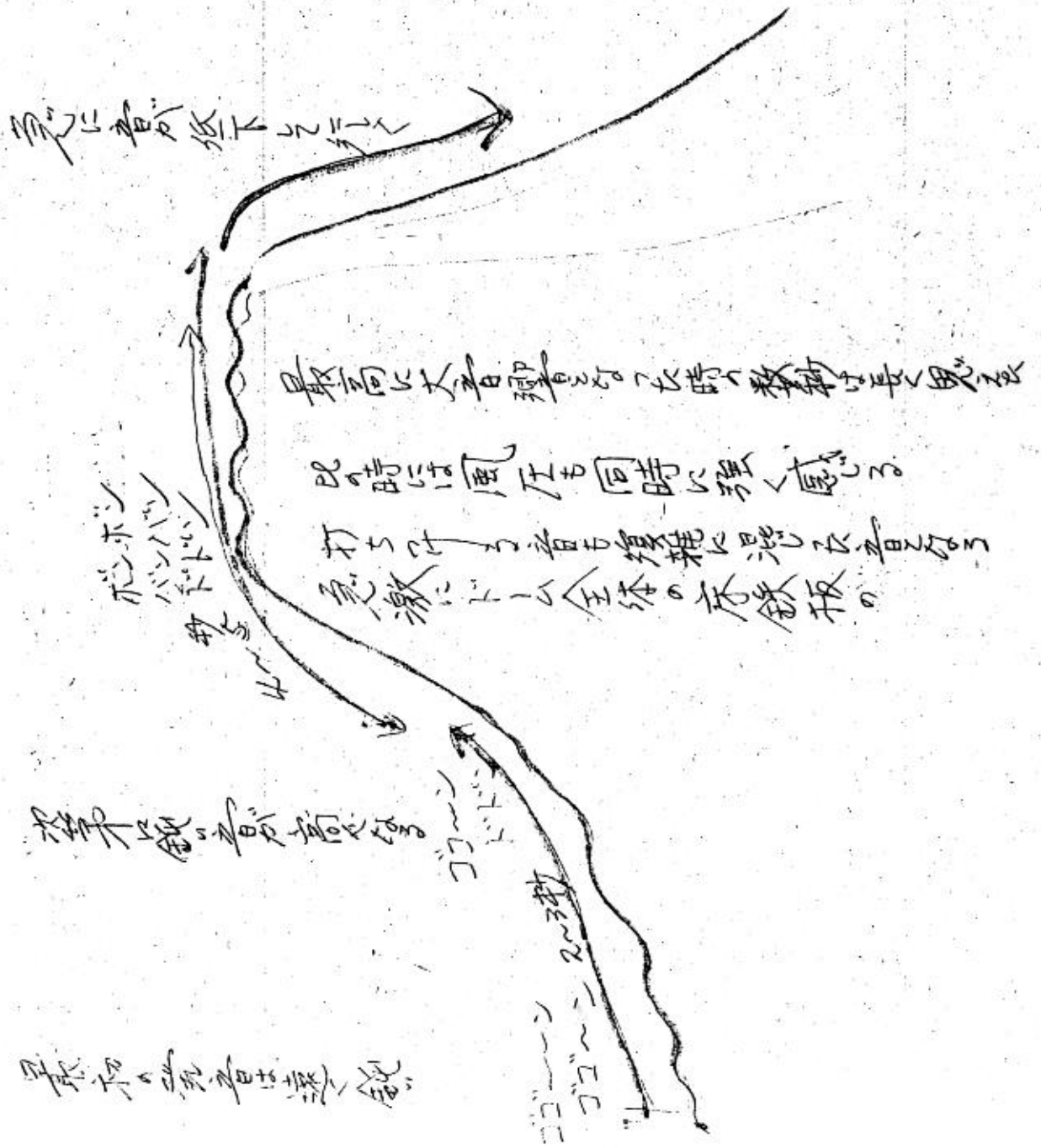


11/20 古田さんより

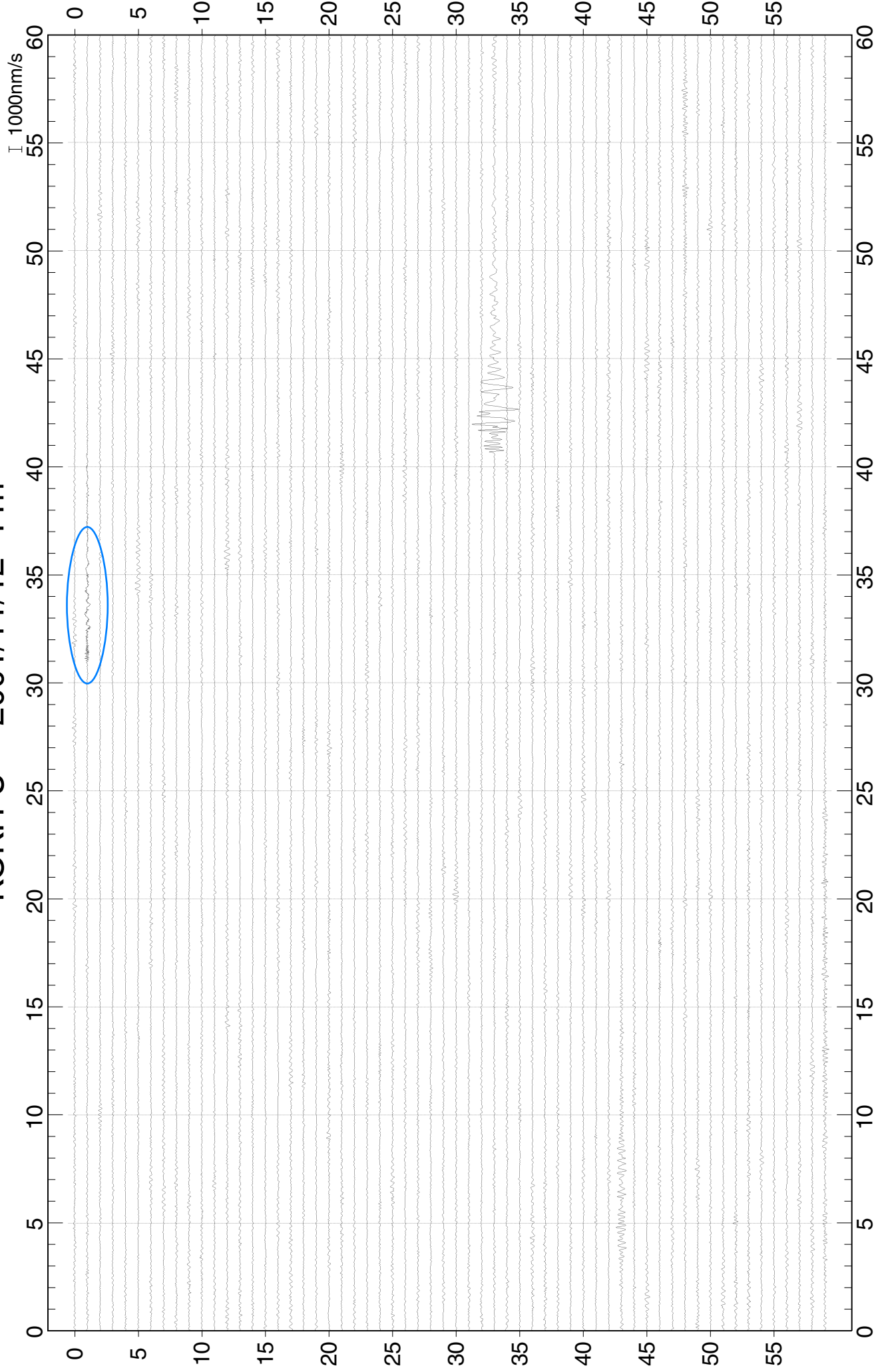
中畑愛

資料: 古田

11月12日(月) 11時頃に突如、発出した大音響状況の体験



KOKH-U 2001/11/12 11h



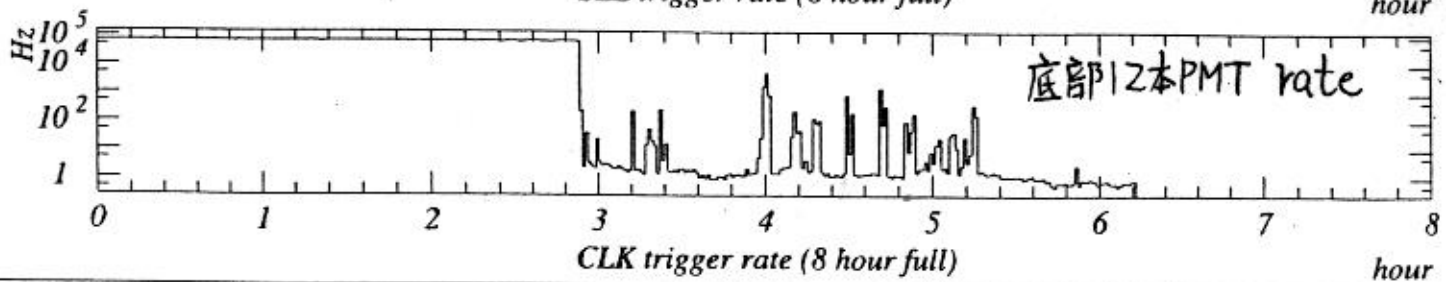
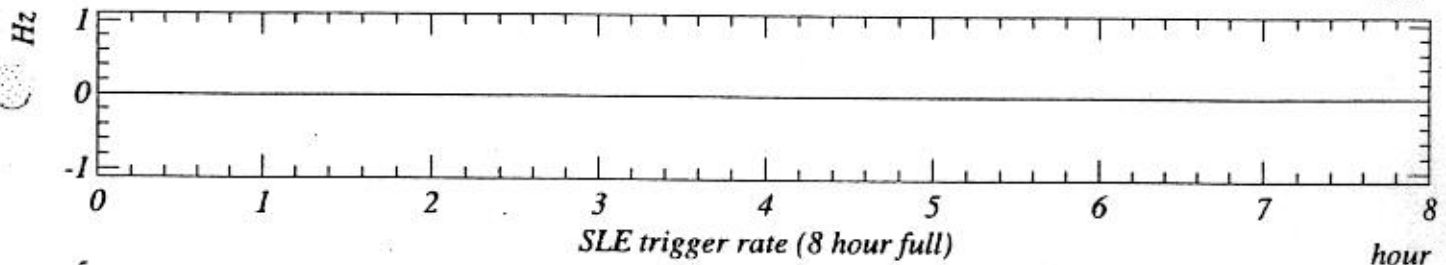
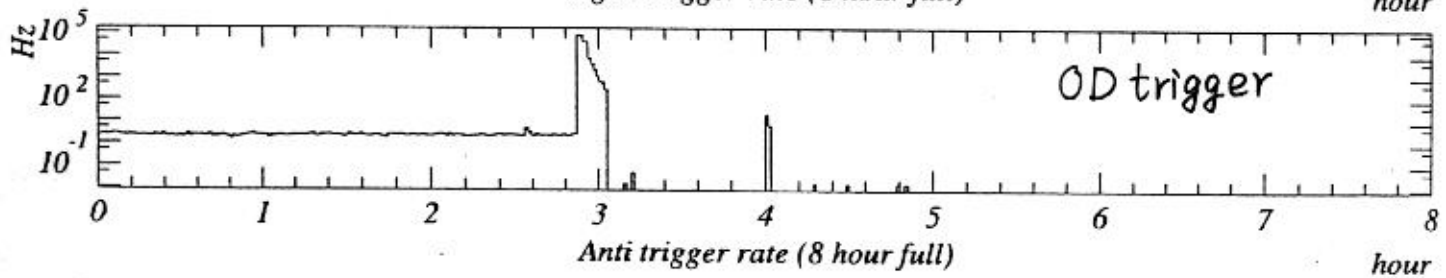
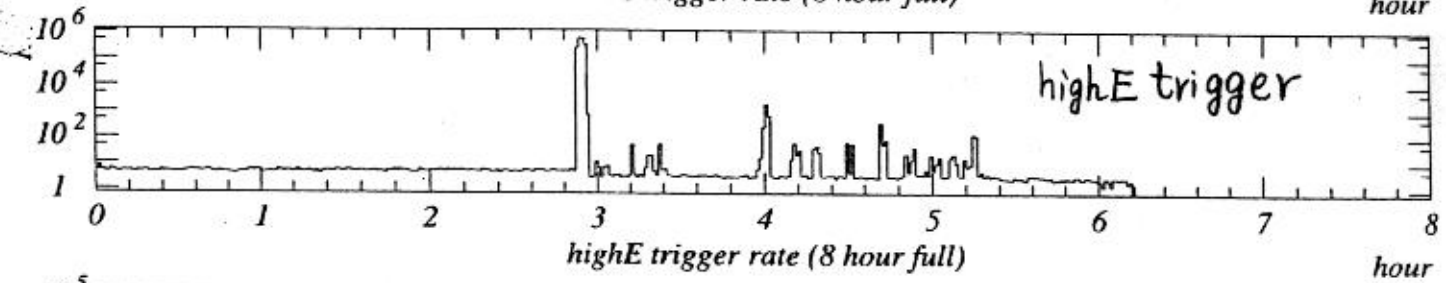
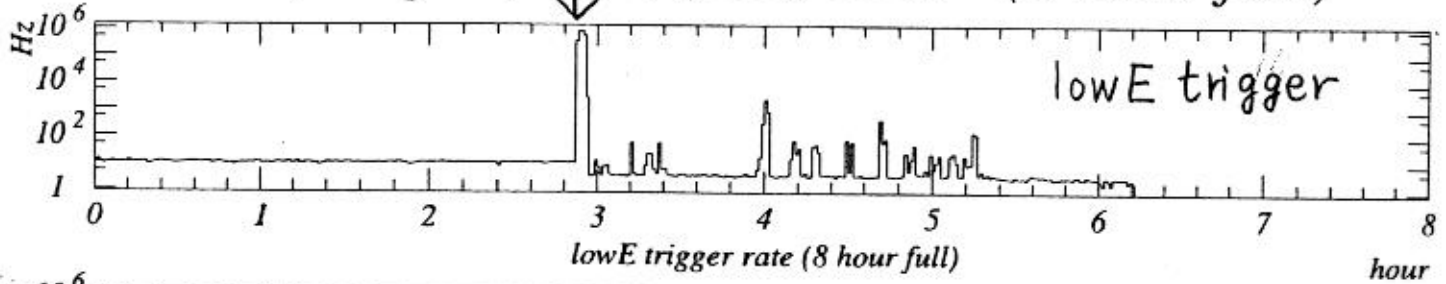
資料:地震波

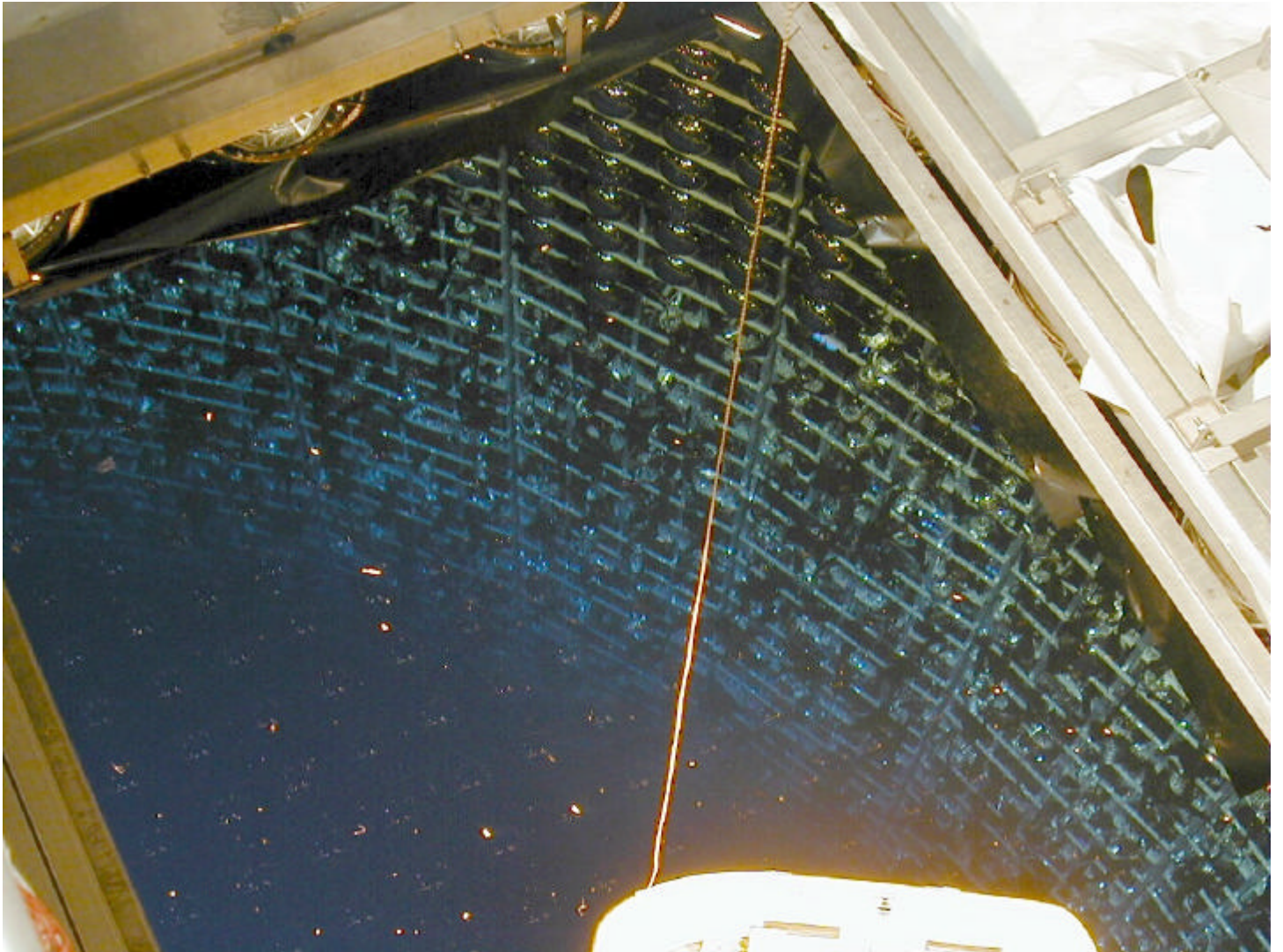
KOKH-UD成分の連続波形記録(2001年11月12日午前1時00分00秒~12時00分00秒)

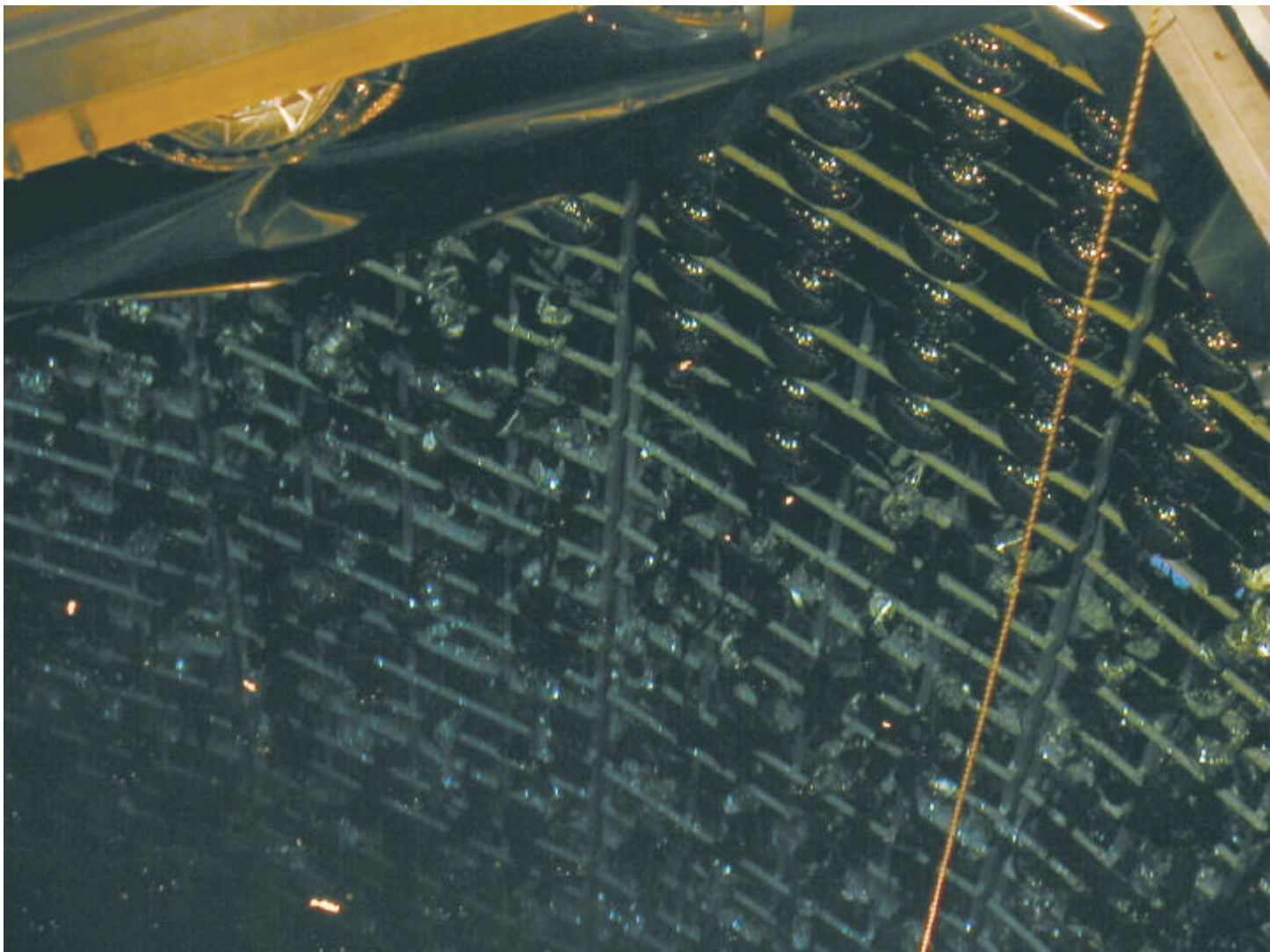
11月12日11時1分

01/11/12 14.14

LowE, HighE, OD, SLE, CLK (8 hour full)







HAMAMATSU

TECHNICAL DATA

**20 INCH DIAMETER
PHOTOMULTIPLIER TUBES
R3600-02, -05**
**Improved Types of Conventional 20" Photomultiplier Tubes R1449
In Transit Time Spread and Current Amplification
For High Energy Physics Research Applications
(Especially for Proton Decay, Neutrino and Muon Detector)**
FEATURES

- Ultra-Large Size with 20" Diameter Hemispherical Photocathode
- High Current Amplification 1×10^7
- Quantum Efficiency at 390nm 23%
- Time Response
 - Anode Pulse Rise Time 10ns
 - Anode Pulse Fall Time 25ns
 - Anode Pulse Width (FWHM) 25ns
 - Electron Transit Time 60ns
 - Transit Time Spread 6.0ns
- Dark Pulse Count
 - Typical 30kcps
 - Maximum 100kcps

GENERAL

Parameters		Ratings	Units
Spectral Response		300 to 650	nm
Wavelength of Maximum Response		420 ± 30	nm
Photocathode Material		Bialkali	-
Window	Material	Low expansion borosilicate glass	-
	Index of Refraction at 420nm	1.473 ± 0.001	-
	Thermal Expansion Coefficient	32×10^{-7}	/°C
	Shape	Hemispherical	-
Dynode	Structure	Venetian blind	-
	Number of Stages	11	-
Direct Interelectrode Capacitances	Anode to Last Dynode	36	pF
	Anode to All Other Electrodes	40	pF
Base		JEDEC No. B20-102	-
Weight	R3600-02	9	kg
	R3600-05	15	kg
Sultable Socket (R3600-02)		E678-20A (supplied)	-

MAXIMUM RATINGS (Absolute Maximum Values)

Parameters		Ratings	Units
Supply Voltage	Between Anode and Cathode	2500	Vdc
	Between Anode and Last Dynode	300	Vdc
Average Anode Current		0.1	mA
Average Cathode Current		100	nA
Ambient Temperature		0 to +50	°C
Pressure		6	atm

Information furnished by HAMAMATSU is believed to be reliable. However, no responsibility is assumed for possible inaccuracies or omissions. Specifications are subjected to change without notice. No patent rights are granted to any of the circuits described herein.

PHOTOMULTIPLIER TUBES R3600-02, -05

CHARACTERISTICS (at 2000Vdc, 25 °C)

Parameters		Min.	Typ.	Max.	Units
Cathode Sensitivity	Luminous(2856K)	-	60	-	$\mu A/lm$
	Blue (CS No.5-58 filter)	4.0	7.0	-	$\mu A/lm-b$
Anode Sensitivity	Luminous(2856K)	-	600	-	A/lm
	Blue (CS No.5-58 filter)	-	70	-	$A/lm-b$
Current Amplification		-	1×10^7	-	-
Anode Dark Current (after 30min. storage in darkness)		-	200	2500	nA

Figure 1: Voltage Divider and Supply Voltage for R3600-02

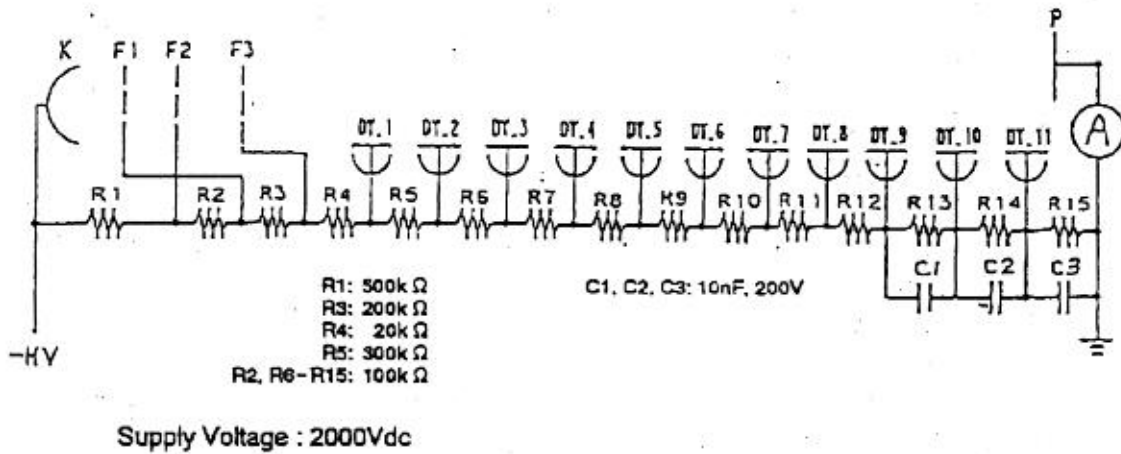


Figure 2: Typical Spectral Response

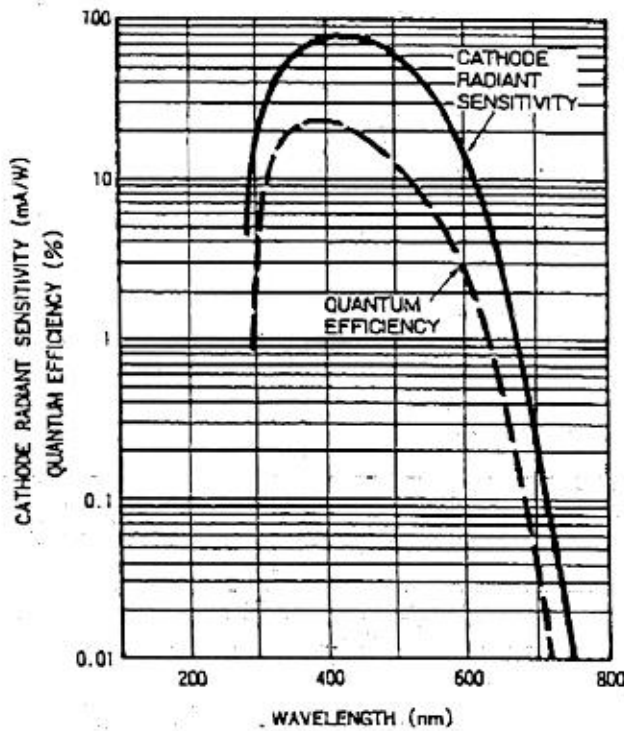


Figure 3: Anode Sensitivity, Current Amplification and Dark Current Characteristics

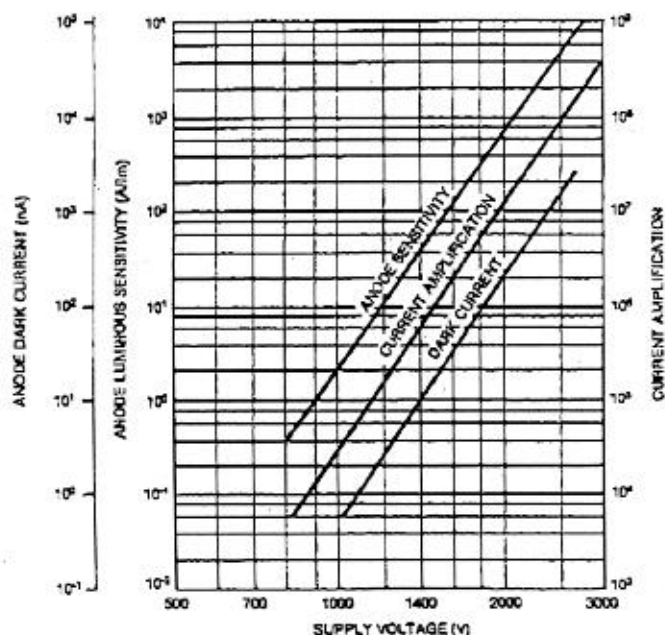


Figure 4: Typical Time Response

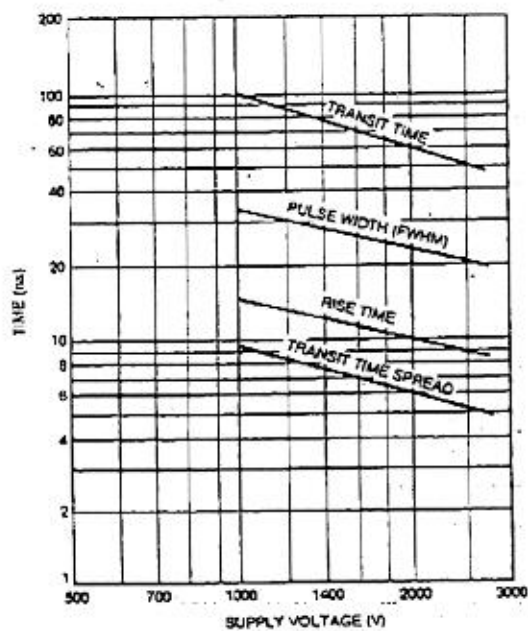


Figure 5: Typical Temperature Coefficient of Anode Sensitivity

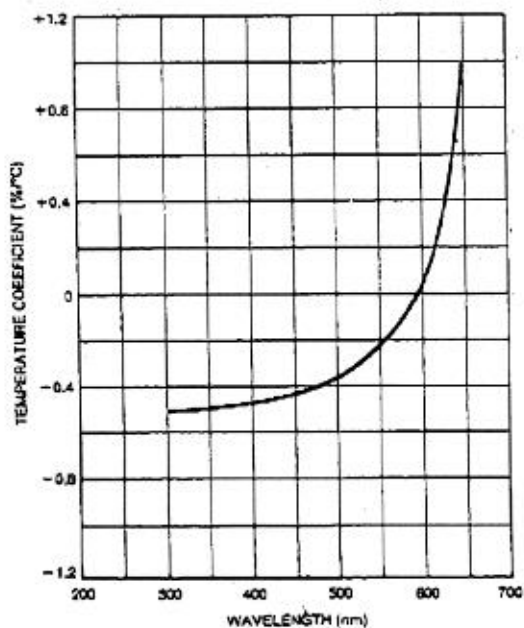
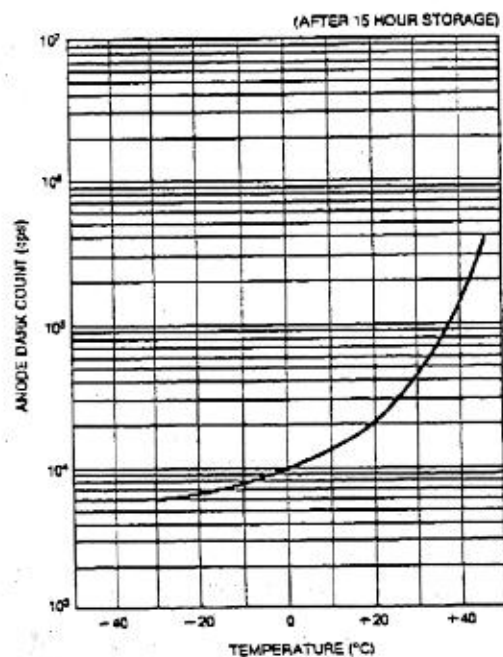
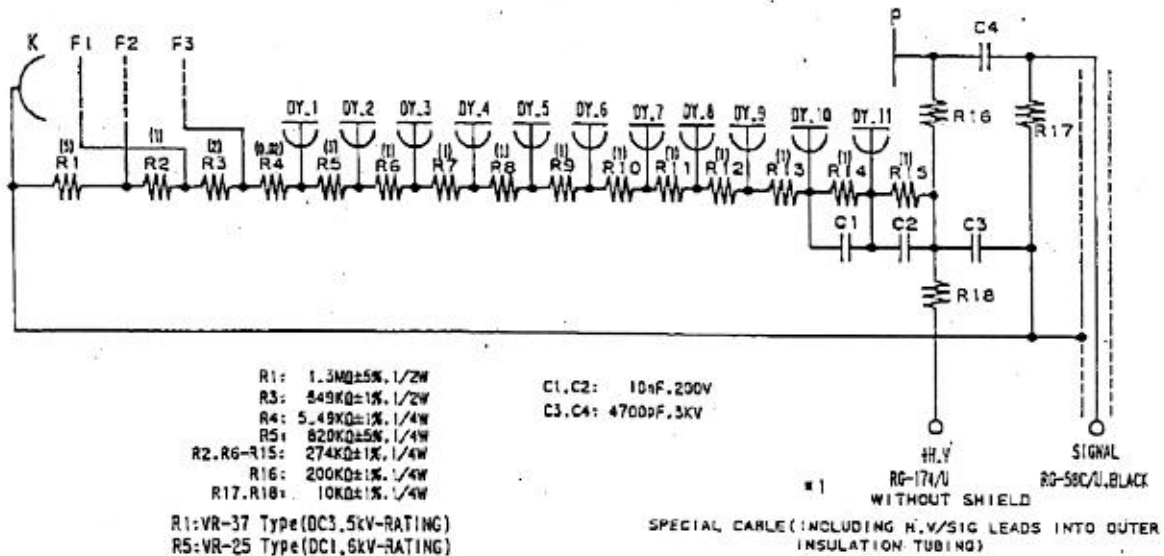
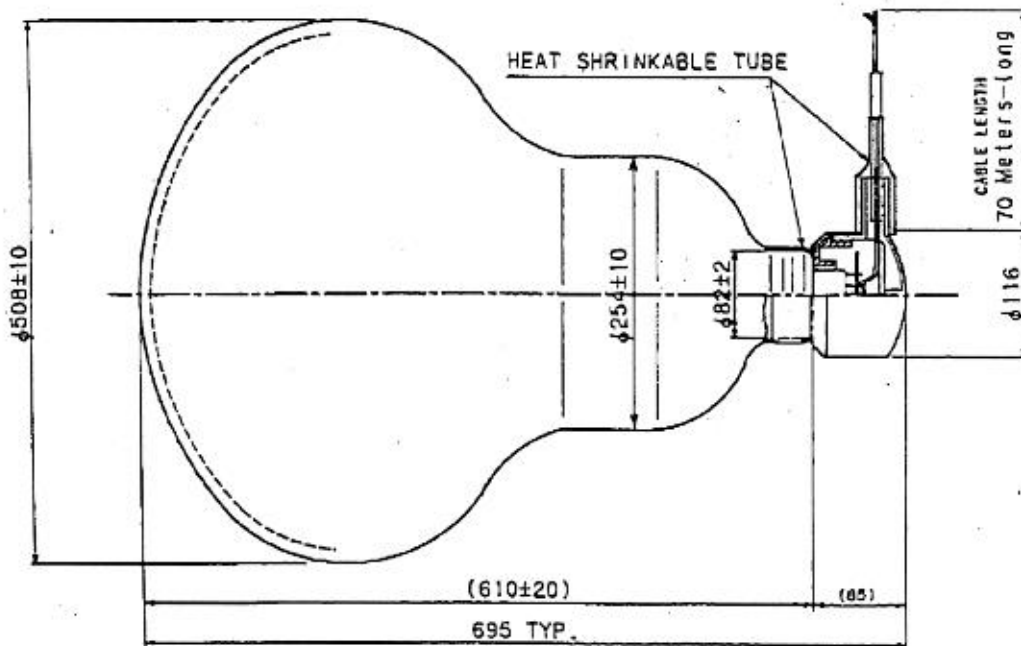


Figure 6: Typical Temperature Characteristic of Dark Count



PHOTOMULTIPLIER TUBE R3600-05

Figure 7: Dimensional Outline and Voltage Divider for R3600-05 (Unit:mm)



HAMAMATSU

HAMAMATSU PHOTONICS K.K., Electron Tube Center

314-5, Shimokanzo, Toyooka-village, Iwata-gun, Shizuoka-ken, 438-01 Japan, Telephone:0539/82-5248, Fax:0539/82-2205 Telex:4289-825

U.S.A.: Hamamatsu Corporation, 360 Foothill Road, P.O.Box 6910, Bridgewater, N.J. 08807-0910, Telephone:1-908-231-0960, Fax:1-908-231-1218

Germany: Hamamatsu Photonics Deutschland GmbH/Arzbergstr. 10, D-8036 Hirsching am Ammersee, Telephone:49-8152-3750, Fax:49-8152-2958, Telex:527731

France: Hamamatsu Photonics France S.A.R.L.: Z.A. ORLYTECH-BT 523, 3, Allée Du CDT-Mouchotte, Paray Vieille Poste, 91781 Wissous Cedex, Telephone:33-(1)49 75 58 80, Fax:33-(1)49 75 86 87, Telex:262082

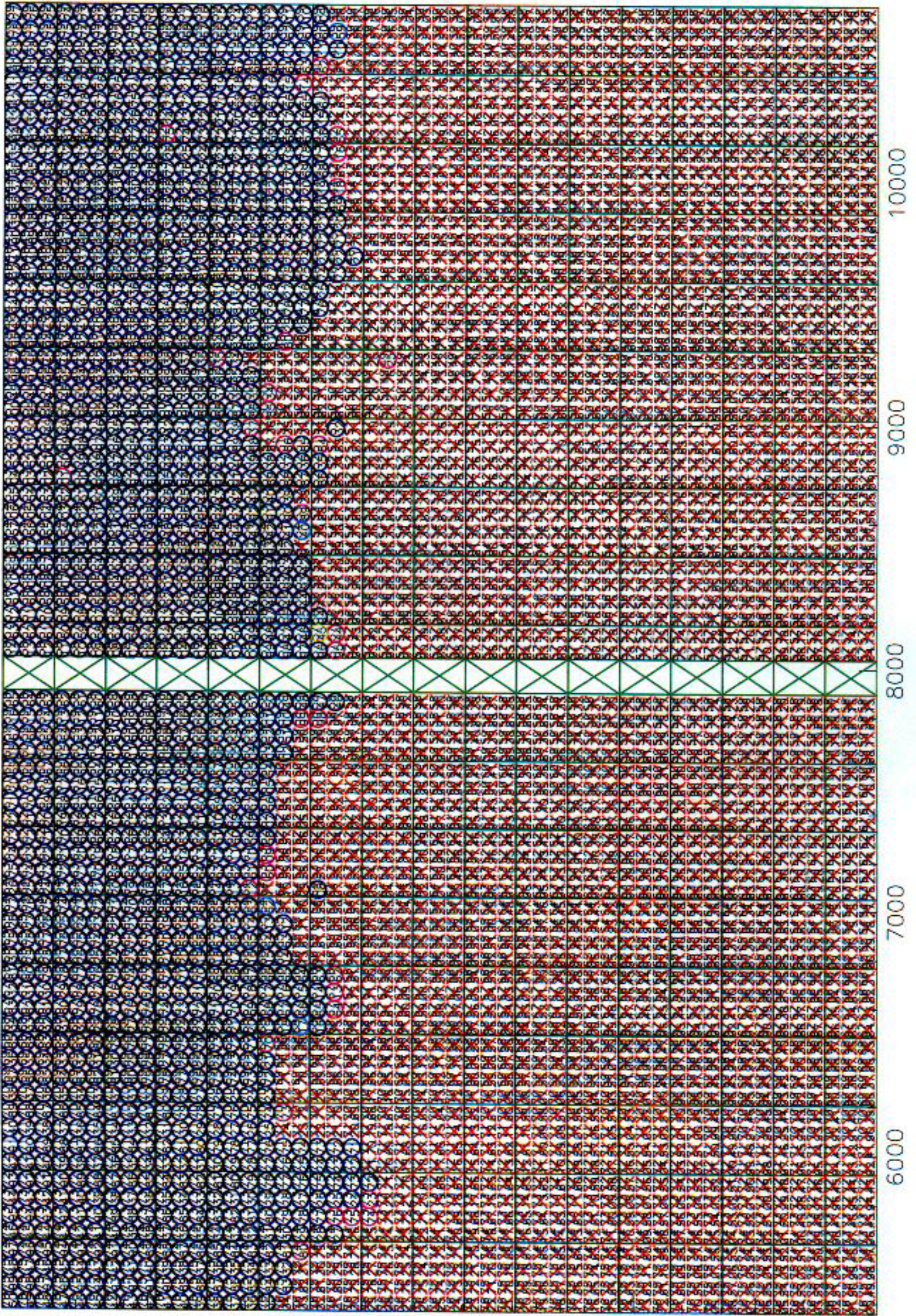
United Kingdom: Hamamatsu Photonics UK Limited/Lough Point, 2 Gledbeck Way, Windmill Hill, Enfield, Middlesex EN2 7JA, Telephone:44-81-367-3580, Fax:44-81-367-8364, Telex:927817 Photon G

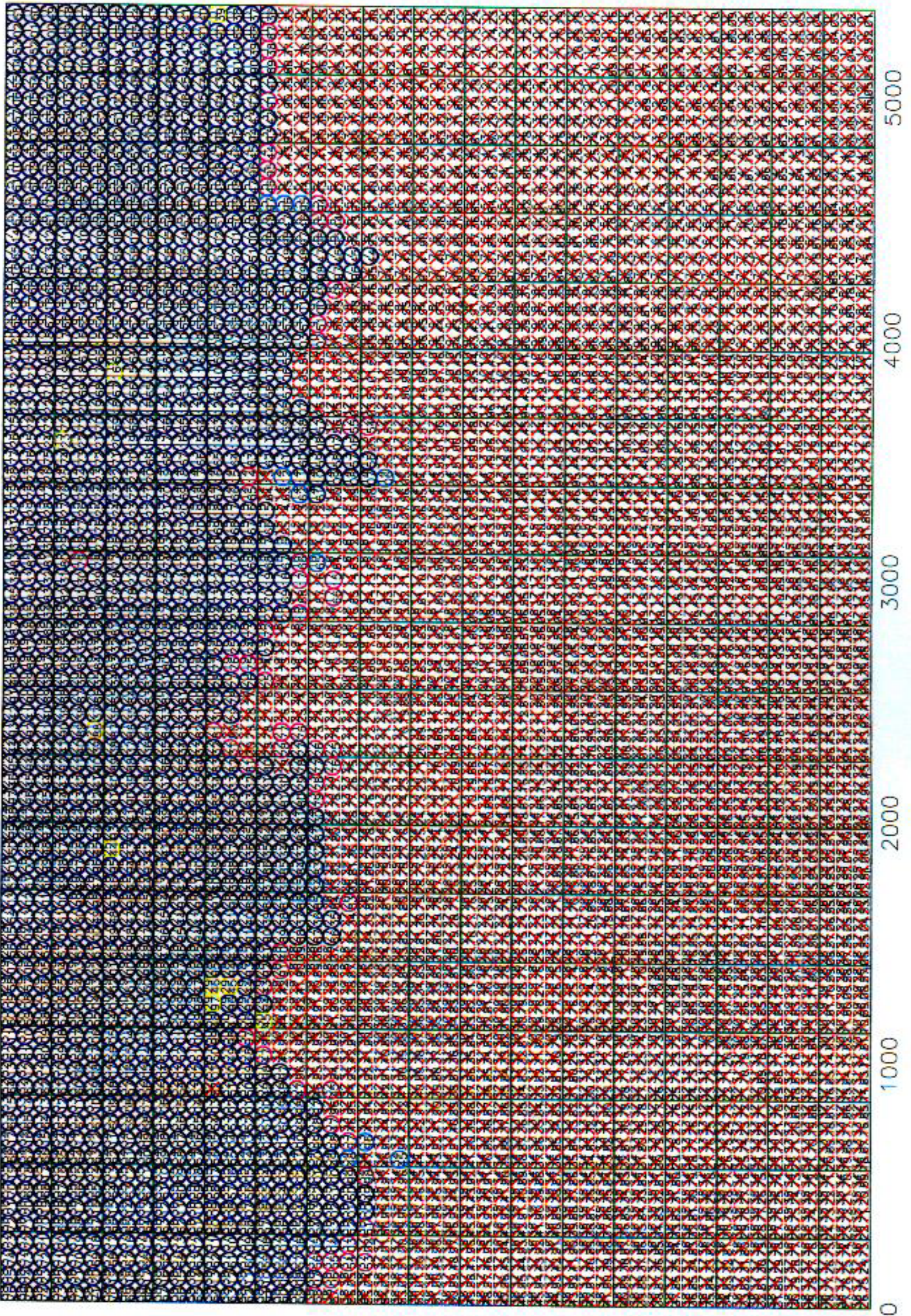
North Europe: Hamamatsu Photonics Norden AB/Kanalvägen 20 8th Floor, 194 81 Upplände Vasby, Sweden, Telephone:46-8-59032100, Fax:46-8-59084567

Italy: Hamamatsu Photonics Italia S.R.L.: Via Monte Grappa 30, 20020 Arese, Milano, Telephone:39-(2)835 61 733, Fax:39-(2)835 61 741

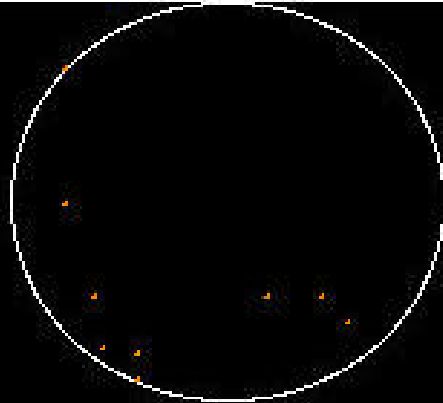
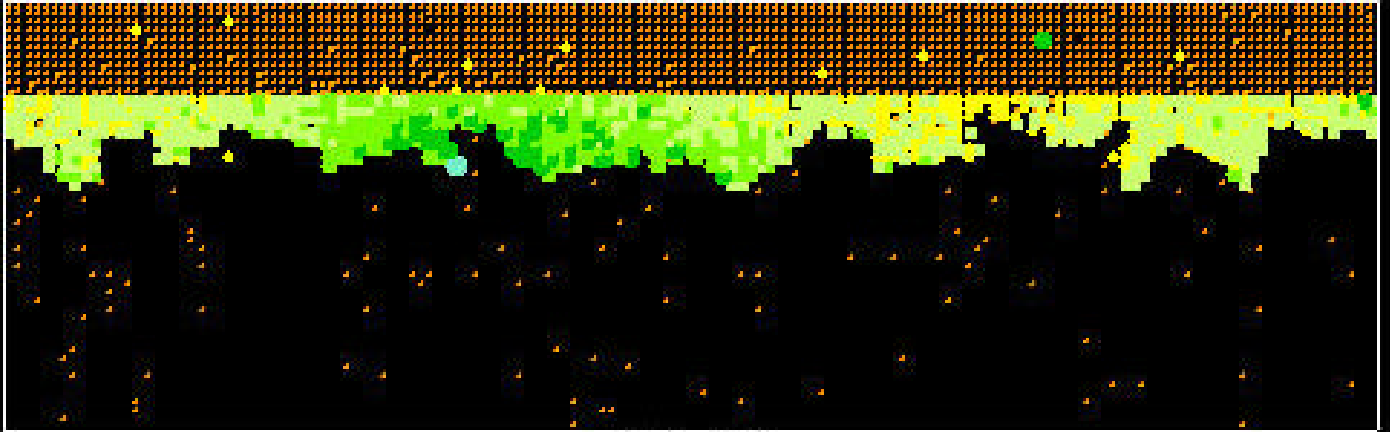
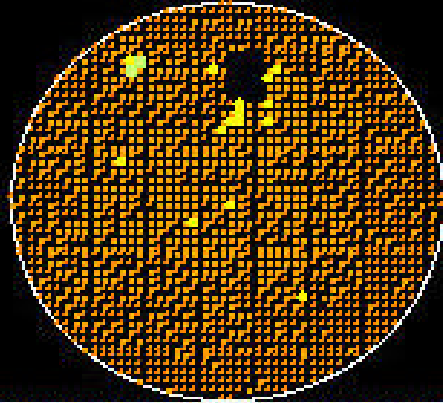
Spain: Hamamatsu Photonics España S.L.: Calle Sabadell, 41-06191-Rubi, Barcelona, Telephone:34-3 699 85 83, Fax:34-3 598 19 66

資料：側面破損状況





Inner Hitmap



Display: TIME INNER

Events scanned: 98

Date:

Run: 11228

Event: 499

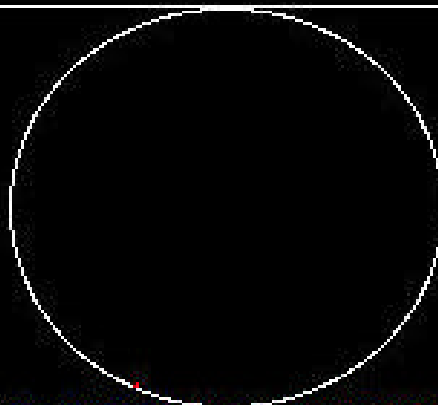
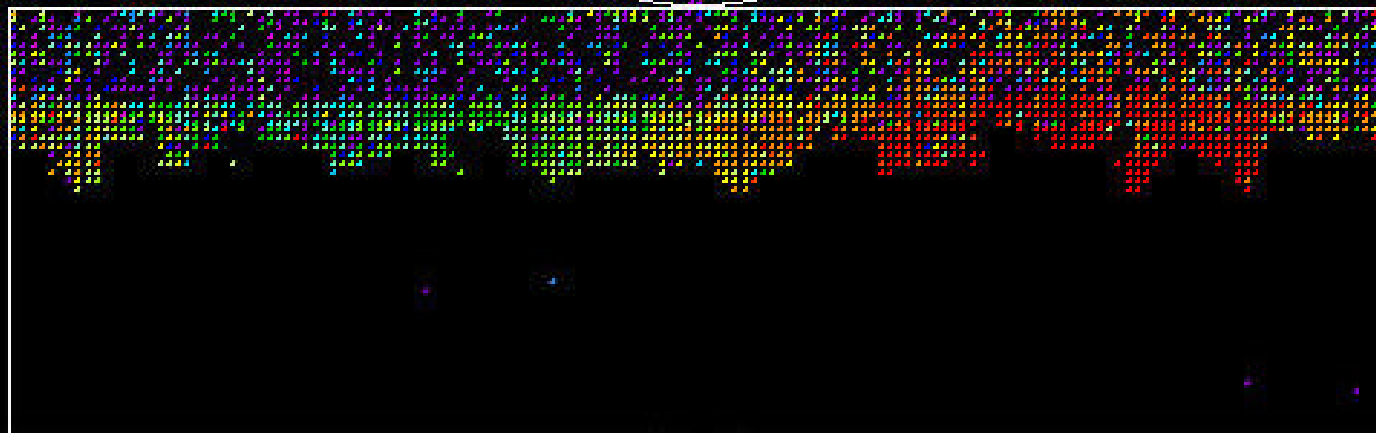
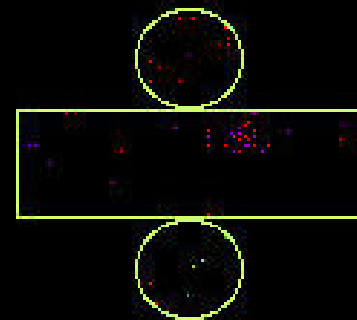
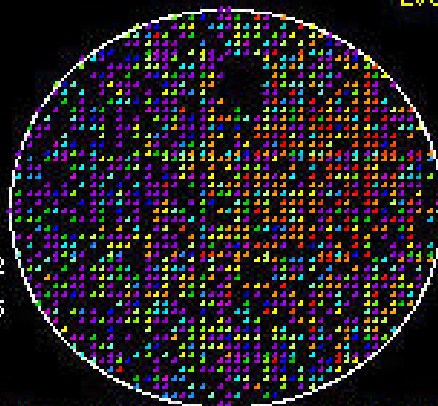
Event Time:

TRG Type(s): HE

TotalPE ID/OD: 12757.6 12216.2

NumHits ID/OD: 3299 75

Time Diff: 000 usec 000 nsec



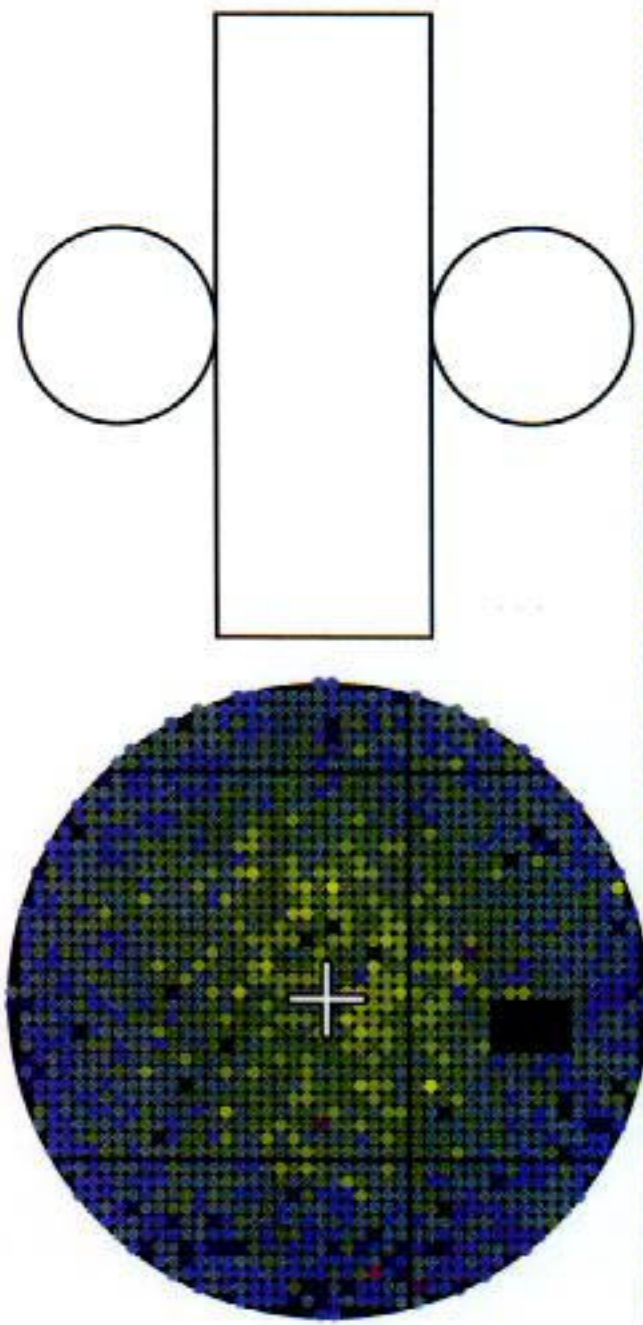
Sun Location: Day 2

0.886691 -0.355395 0.295758

988.8 996.41003.91011.51019.11026.61034.21041.81049.31056.91064.51072.01079.61087.21094.71102.3

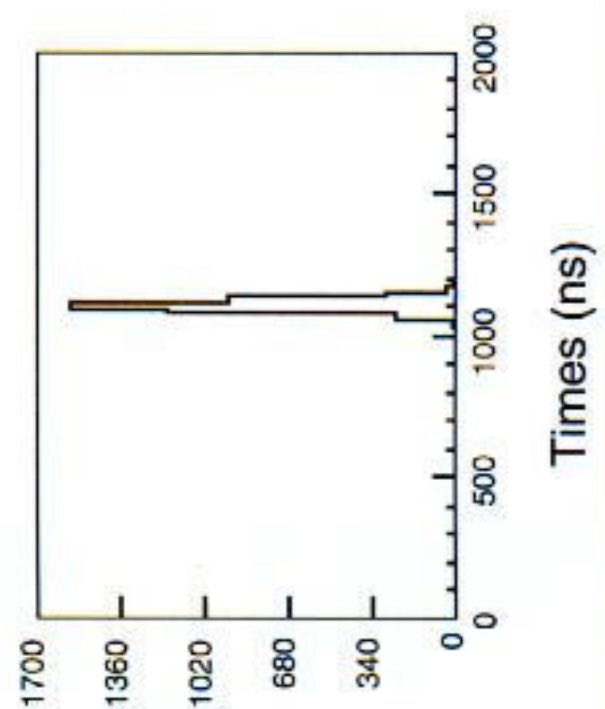
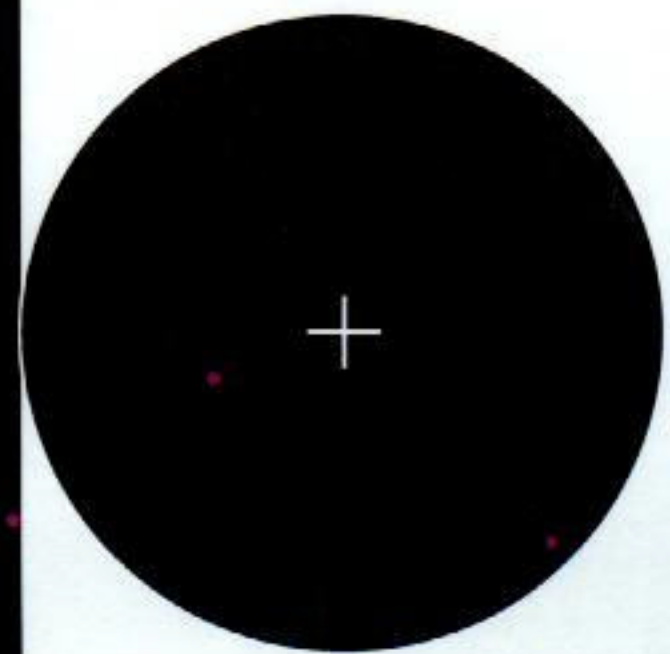
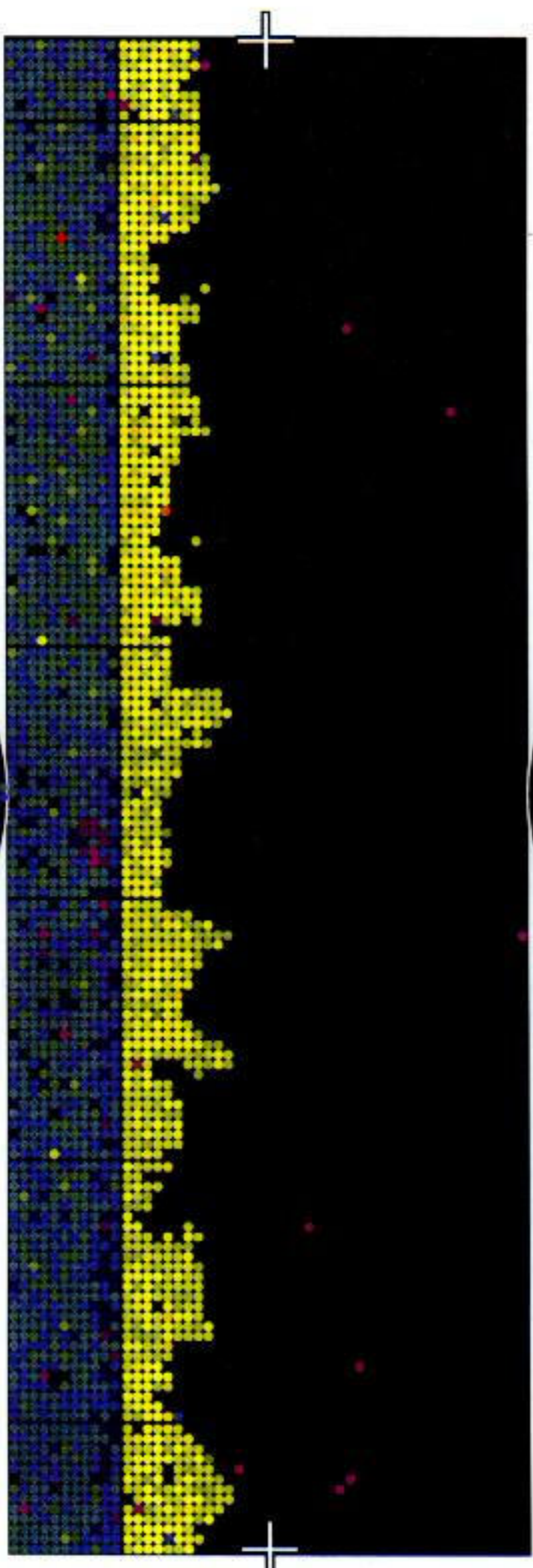
Super-Kamiokande

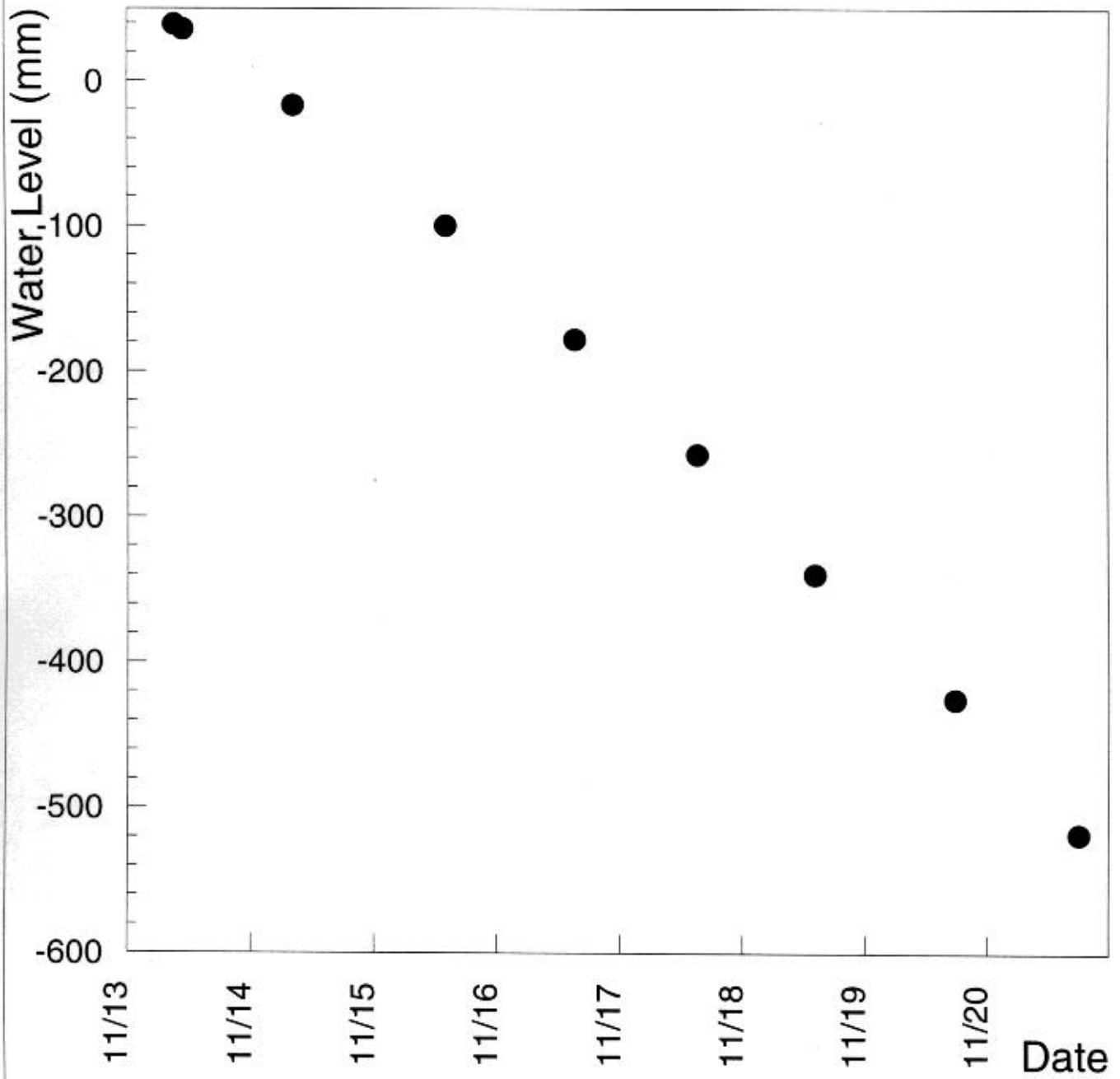
Run 11233 Event 7
101-11-20:17:32:42
Inner: 4304 hits, 171463 pE
Outer: -1 hits, 0 pE (in-time)
Trigger ID: 0x10
ap ver: 0
Fully-Contained

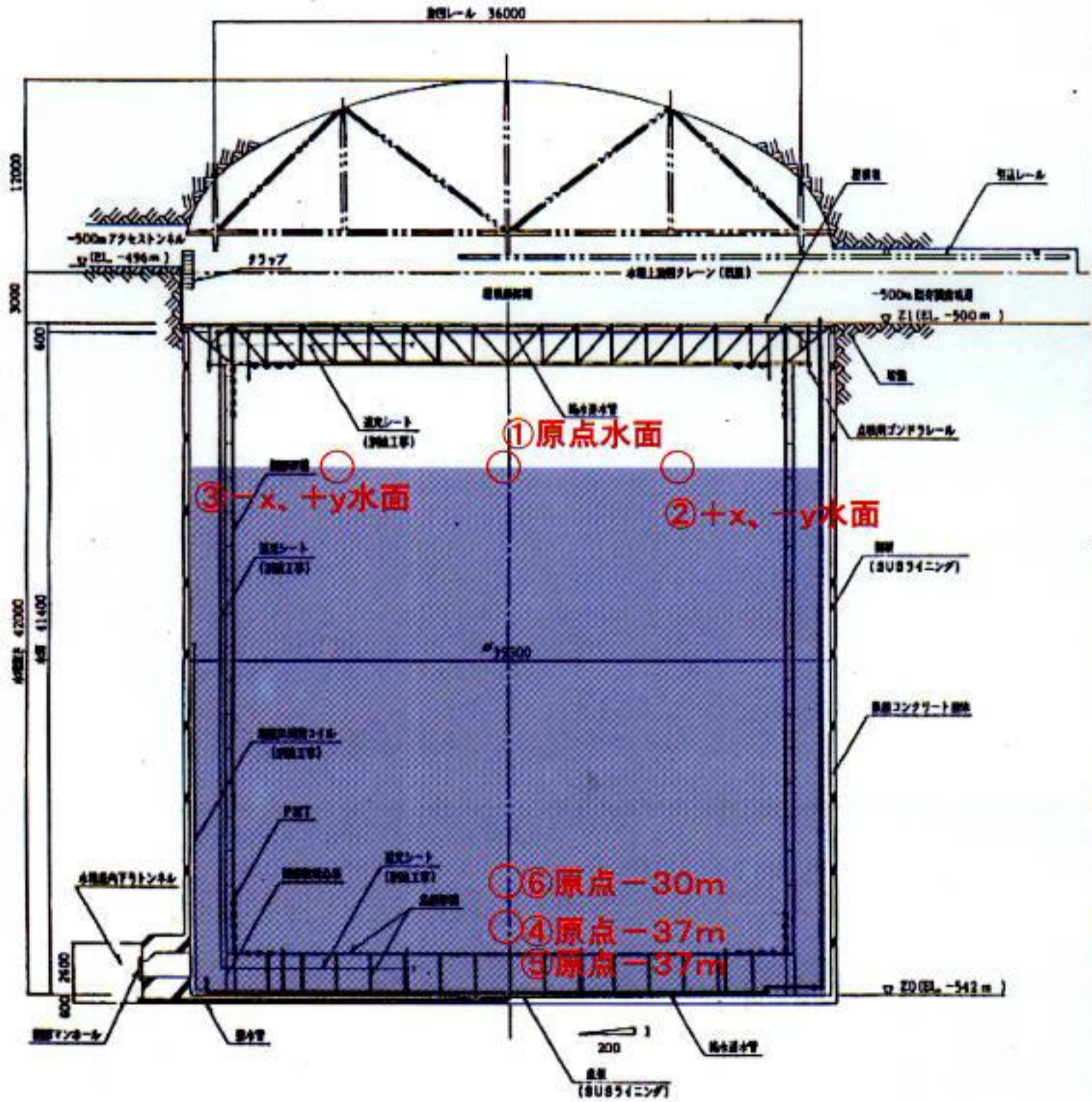
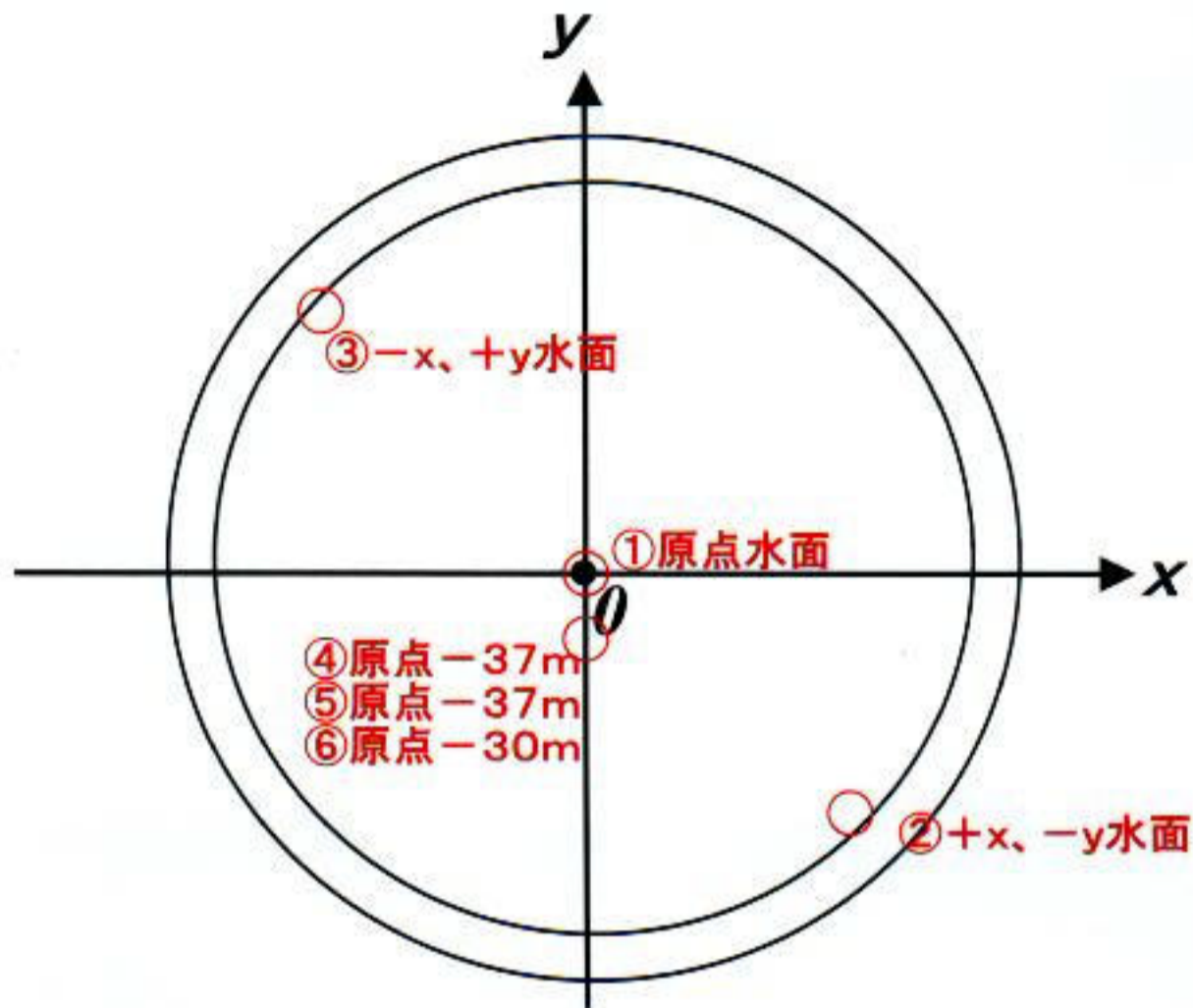


Charge (pe)

- > 240
- 210- 240
- 182- 210
- 156- 182
- 132- 156
- 110- 132
- 90- 110
- 72- 90
- 56- 72
- 42- 56
- 30- 42
- 20- 30
- 12- 20
- 6- 12
- 2- 6
- <







スーパーカミオカンデにおける水質検査結果一覧表

検査項目	水質汚濁防止法	環境基本法	サンプル採取場所	(社)静岡県産業環境センター	神岡鉱業株	(有)神岡衛生社
	排水規準	環境基準				
pH (水素イオン濃度)	5.8 以上 8.6 以下	-	①原点水面 ②+x, -y水面 ③-x, +y水面 ④原点-37m ⑤原点-37m ⑥原点-30m 検査日	7.9 7.5 7.1 6.7 6.7 6.5 13.11.15	11/26予定 11/26予定 11/26予定 - 11/26予定 11/26予定	5.9 5.9 5.8 - 5.9 6.0 13.11.19
マグネシウム	-	-	①原点水面 ②+x, -y水面 ③-x, +y水面 ④原点-37m ⑤原点-37m ⑥原点-30m 検査日	0.005mg/L未満 0.005mg/L未満 0.005mg/L未満 0.005mg/L未満 0.005mg/L未満 0.005mg/L未満 13.11.20	0.01 mg/L未満 0.01 mg/L未満 0.01 mg/L未満 - 0.01 mg/L未満 0.01 mg/L未満 13.11.20	11/23予定 11/23予定 11/23予定 - 11/23予定 11/23予定
セシウム	-	-	①原点水面 ②+x, -y水面 ③-x, +y水面 ④原点-37m ⑤原点-37m ⑥原点-30m 検査日	11/22予定	11/26予定 11/26予定 11/26予定 - 11/26予定 11/26予定	11/23予定 11/23予定 11/23予定 - 11/23予定 11/23予定
六価クロム	0.5 mg/L 以下	0.05 mg/L 以下	①原点水面 ②+x, -y水面 ③-x, +y水面 ④原点-37m ⑤原点-37m ⑥原点-30m 検査日	0.01 mg/L未満 0.005mg/L未満 0.01 mg/L未満 0.005mg/L未満 0.01 mg/L未満 0.005mg/L未満 0.01 mg/L未満 0.005mg/L未満 0.01 mg/L未満 0.005mg/L未満 13.11.15	0.02 mg/L未満 0.02 mg/L未満 0.02 mg/L未満 - 0.02 mg/L未満 0.02 mg/L未満 13.11.20	0.0002mg/L未満 0.0002mg/L未満 0.0002mg/L未満 - 0.0003mg/L 0.0003mg/L 13.11.20
クロム	2 mg/L 以下	-	①原点水面 ②+x, -y水面 ③-x, +y水面 ④原点-37m ⑤原点-37m ⑥原点-30m 検査日	0.01mg/L未満 0.01mg/L未満 0.01mg/L未満 0.01mg/L未満 0.01mg/L未満 0.01mg/L未満 13.11.15	0.02 mg/L未満 0.02 mg/L未満 0.02 mg/L未満 - 0.02 mg/L未満 0.02 mg/L未満 13.11.20	0.0002mg/L未満 0.0002mg/L未満 0.0002mg/L未満 - 0.0003mg/L 0.0003mg/L 13.11.20
マンガン	10 mg/L 以下	-	①原点水面 ②+x, -y水面 ③-x, +y水面 ④原点-37m ⑤原点-37m ⑥原点-30m 検査日	0.01mg/L未満 0.01mg/L未満 0.01mg/L未満 0.01mg/L未満 0.01mg/L未満 0.01mg/L未満 13.11.15	0.01mg/L未満 0.01mg/L未満 0.01mg/L未満 - 0.01mg/L未満 0.01mg/L未満 13.11.20	0.0003mg/L 0.0004mg/L 0.0003mg/L - 0.0012mg/L 0.0010mg/L 13.11.20
アンチモン	-	-	①原点水面 ②+x, -y水面 ③-x, +y水面 ④原点-37m ⑤原点-37m ⑥原点-30m 検査日	0.003mg/L未満 0.003mg/L未満 0.003mg/L未満 0.015mg/L 0.015mg/L 0.010mg/L 13.11.15	0.005mg/L未満 0.005mg/L未満 0.005mg/L未満 - 0.015mg/L 0.009mg/L 13.11.20	11/23予定 11/23予定 11/23予定 - 11/23予定 11/23予定

イ. 保安規則および保安規程に定める義務等

<保安規則>

- 施設の管理 (粉じん発生施設の具体的粉じん防止法)
- 部長の指示 (鉱害の防止のための措置)
- 事故報告

<保安規則および保安規程>

- | | |
|-----------------------------|----------|
| 施設 | 義務 |
| ○管理 | (副管) |
| ○点検及び保安日誌への記載 (毎日) (鉱害防止係員) | |
| ○異常時の応急措置及び副管への報告 (鉱害防止係員) | |
| 飛散の防止 | |
| ○粉じん飛散の防止の措置 | (鉱害防止係員) |
| 緊急措置 | |
| ○応急措置及び報告 | (鉱害防止係員) |
| ○事故復旧 | (副管) |

○各課細網

●緊急措置

(3) 坑水および廃水

ア. 坑水および廃水排出基準と環境基準

(ア) 人の健康に係わる物質

規 制 物 質	坑 廃 水		環境基準 (ppm)
	一般基準 (mg/Q)	監督部上乘せ基準 (mg/Q)	
カドミウムおよびその化合物	0.1	0.05	0.01
シアン 化合物	1	-	検出されないこと
有機燐 化合物	1	-	検出されないこと
鉛およびその化合物	0.1	-	0.01
六価クロム 化合物	0.5	-	0.05
ひ素およびその化合物	0.1	-	0.01
水銀およびアルキル水銀 その他の水銀化合物	0.005	-	0.0005
アルキル水銀化合物	検出されない	-	検出されないこと
P C B	0.003	適用除外	検出されないこと
トリクロロエチレン	0.3	適用除外	-
テトラクロロエチレン	0.1	適用除外	-
セレン	0.1	-	0.01

(イ) 生活環境に係わる物質

規制物質	坑 廃 水		環境基準 河川Aランク (ppm)
	一般基準 (mg/l)	監督部上乘せ基準 (mg/l)	
水素イオン濃度 (pH)	5.8 ~ 8.6	-	6.5 ~ 8.5
生物化学的酸素要求量	160(120)	-	2
化学的酸素要求量	160(120)	-	-
浮遊物質	200(150)	60(50)	25
ノルマルヘキサン抽出物 (鉱油類含有量)	5	-	-
ノルマルヘキサン抽出物 (動植物油脂類含有量)	30	-	-
フェノール類含有量	5	-	-
銅 含有量	3	1	-
亜鉛 含有量	5	2	-
溶解性鉄 含有量	10	-	-
④ 溶解性マンガノ 含有量	10	-	-
⑤ クロム 含有量	2	-	-
弗素 含有量	15	-	0.8
大腸菌群数 (個/cm)	3,000	-	1,000MPN/100ml上
窒素 含有量	120(60)	-	I ~ IV 0.2~1.0
磷 含有量	16(8)	-	I ~ IV 0.02~1.0
溶存酸素 含有量	-	-	7.5以上
硝酸性窒素および亜硝酸性窒素	100 (予想)	-	10
ホウ素	10 (予想)	-	1.0
備 考	水質汚濁 防止法 第3条第1項	47名鉱保 第2878号	環境庁告示 第59号

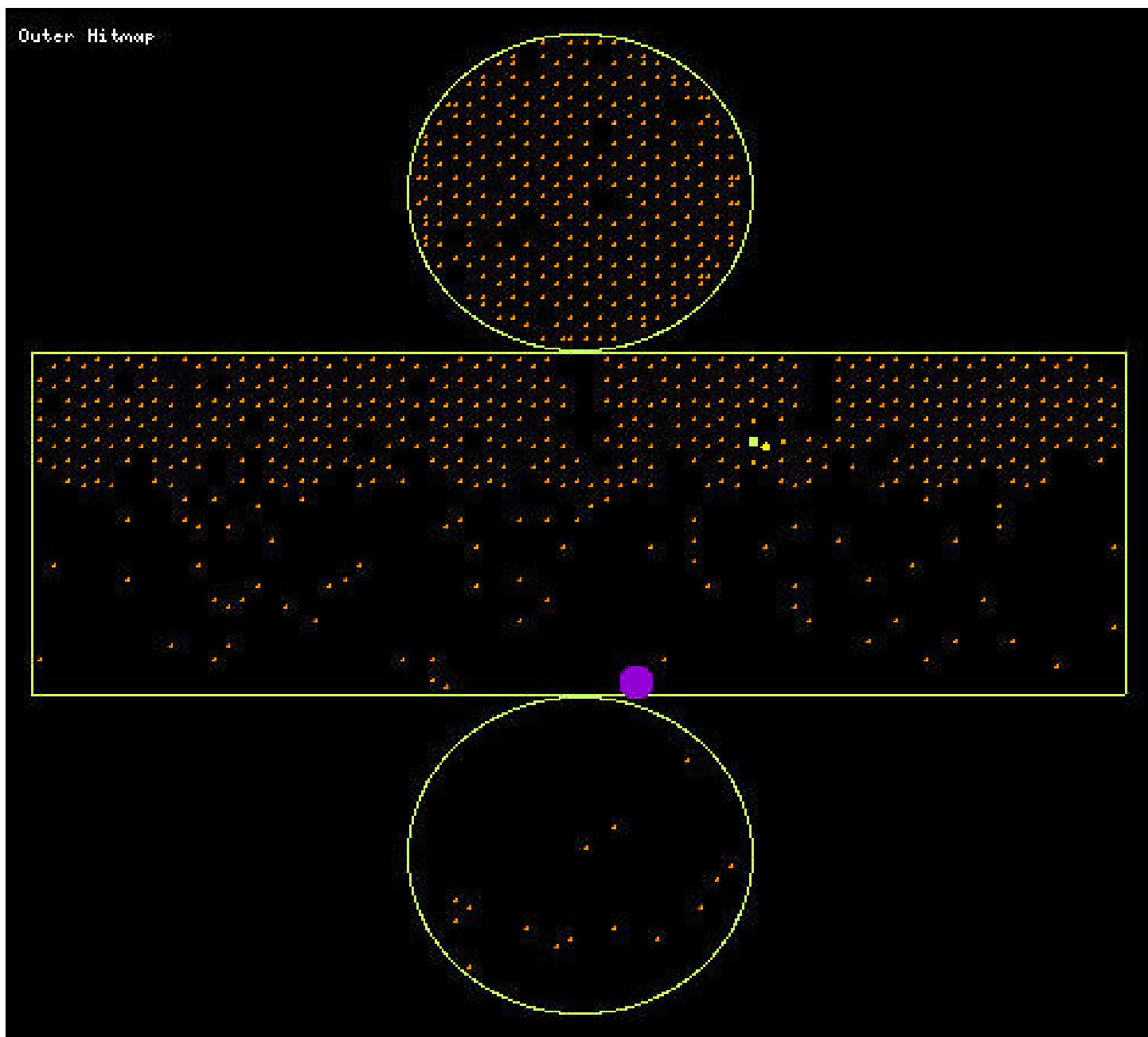
注：() 内数値は日間平均

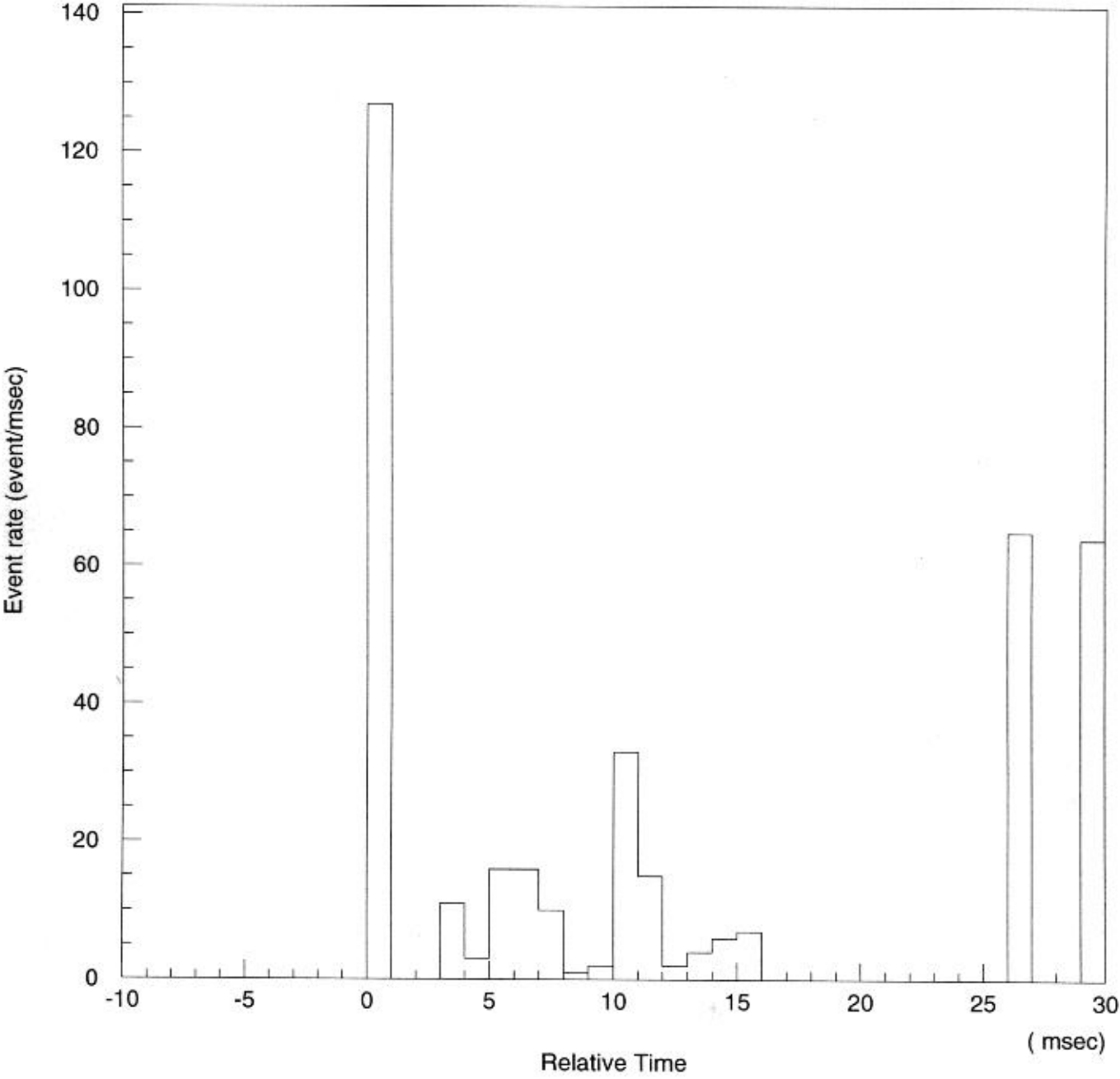
- ・測定免除の物質(H5.10.1.施行)
- ・N, Pは指定海域への河川流入分のみで除去されている。
- ・環境基準：H11.2改正

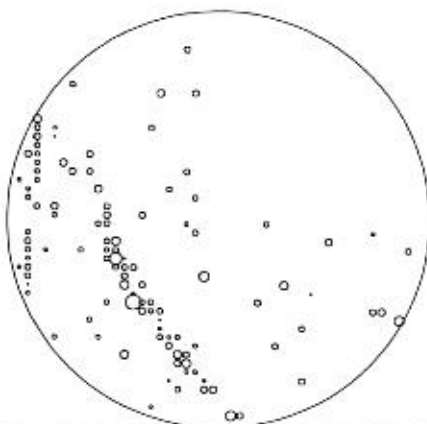
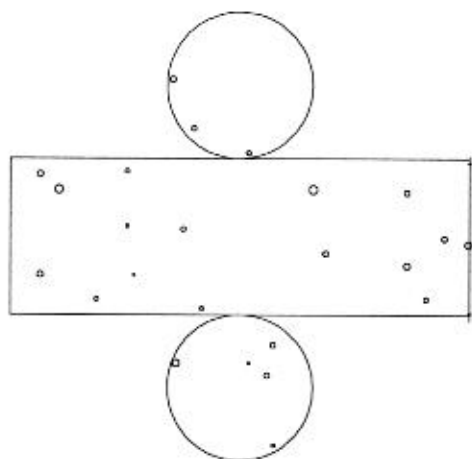
(ウ) 環境水要監視項目

規制物質	坑 廃 水		環境基準 河川Aランク (mg/l)
	一般基準 (mg/l)	監督部上乘基準 (mg/l)	
Ni	-	-	0.01
Mo	-	-	0.07
○ Sb (アンチモン)	0.02 (予想)	-	0.002

資料 :OD残存増倍管のマップ

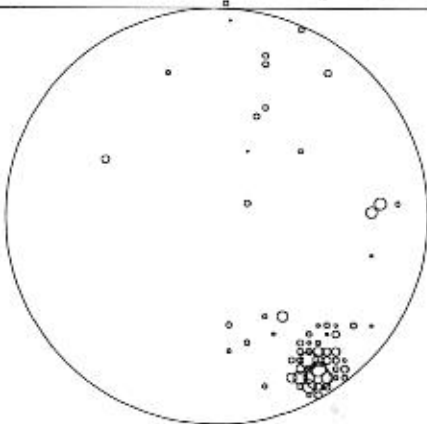
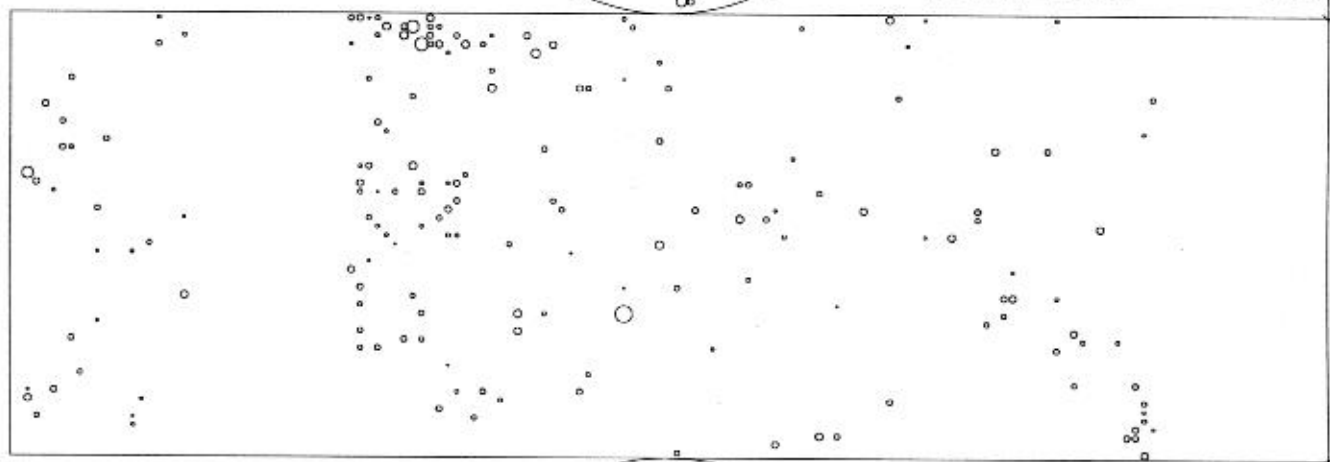




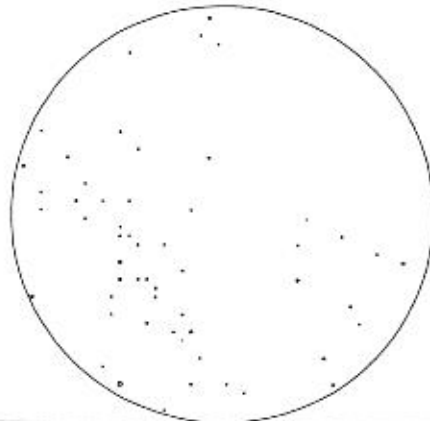
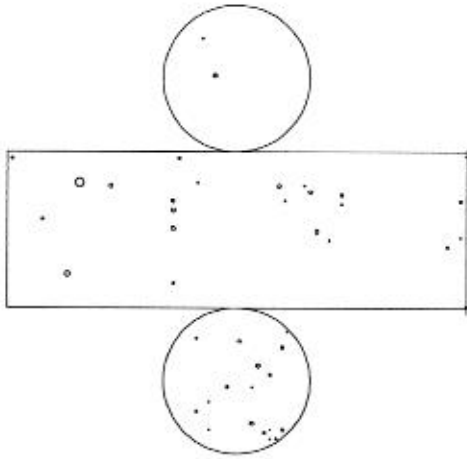


★ Super Kamiokande ★
 NUM 1
 RUN 11211
 EVENT 921342
 DATE **-Nov-12
 TIME 11: 1:24

TOT PE: 642.0
 MAX PE: 30.7
 NMHIT : 345
 ANT-PE: 15.9
 ANT-MX: 1.7
 NMHITA: 25

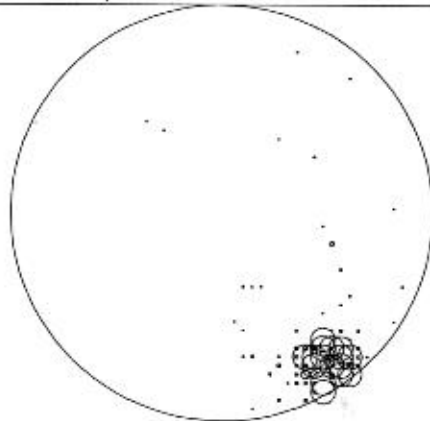
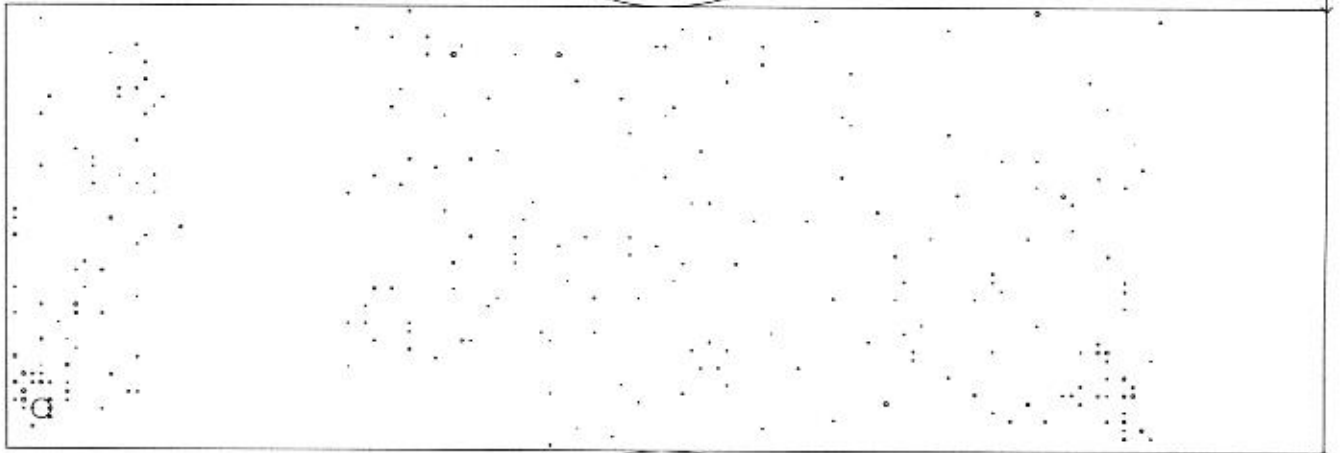


RunMODE: Jan
 TRG ID : 00000011
 T diff. : 0.776E+05
 : 77.6
 FSCC: F0027F90
 TDC0: 8903.5
 O thr. : 0.0
 BAD ch. : no mask
 SUB EV : 0/ 0

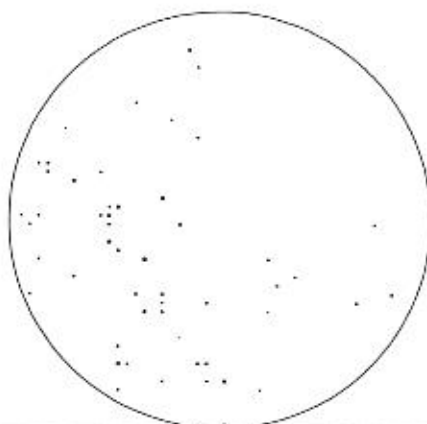
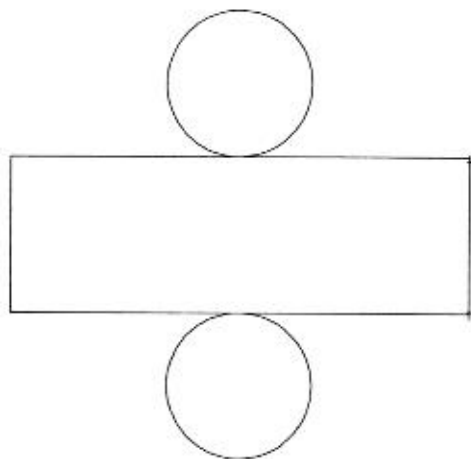


★ Super Kamiokande ★
 NUM 2
 RUN 11211
 EVENT 921343
 DATE **-Nov-12
 TIME 11: 1:24

TOT PE: 4843.0
 MAX PE: 264.2
 NMHIT : 366
 ANT-PE: 37.2
 ANT-MX: 7.9
 NMHITA: 47



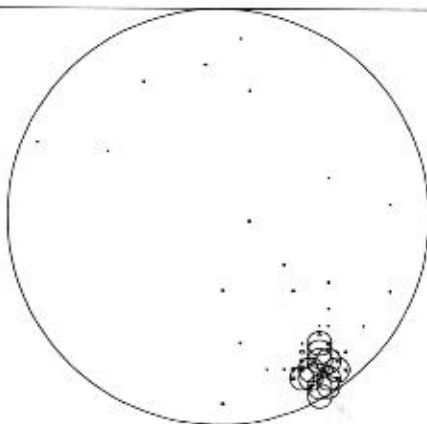
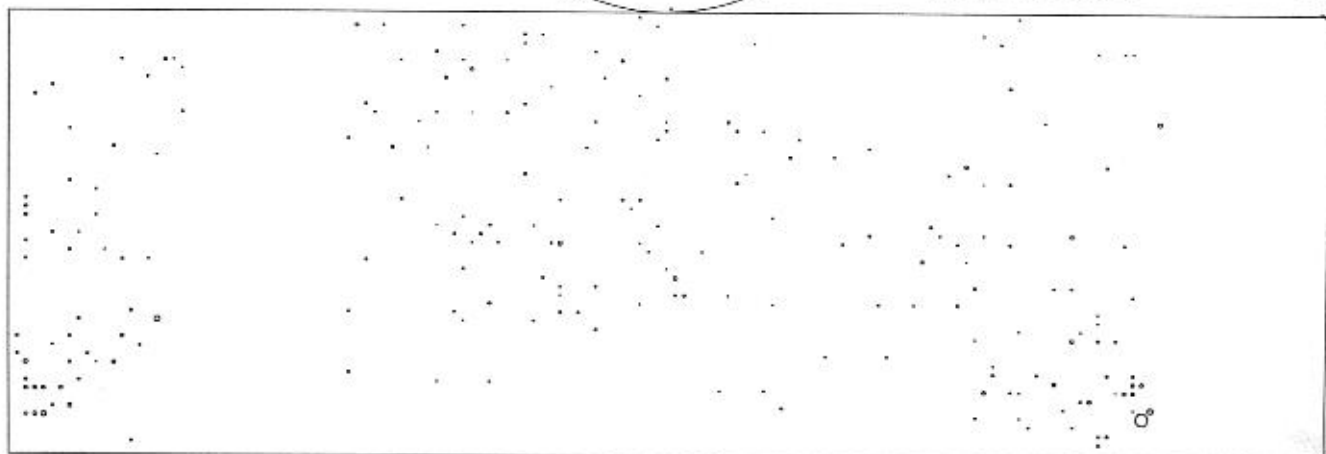
RunMODE: Jan
 TRG ID : 00000011
 T diff. : 58.8
 : 0.588E-01
 FSCC: F0027F90
 TDC0: 8898.0
 Q thr. : 0.0
 BAD ch. : no mask
 SUB EV : 0/ 0



★ Super Kamiokande ★

NUM 3
 RUN 11211
 EVENT 921344
 DATE **-Nov-12
 TIME 11: 1:24

TOT PE: 3659.9
 MAX PE: 261.0
 NMHIT : 317
 ANT-PE: 0.0
 ANT-MX: 0.0
 NMHITA: 0

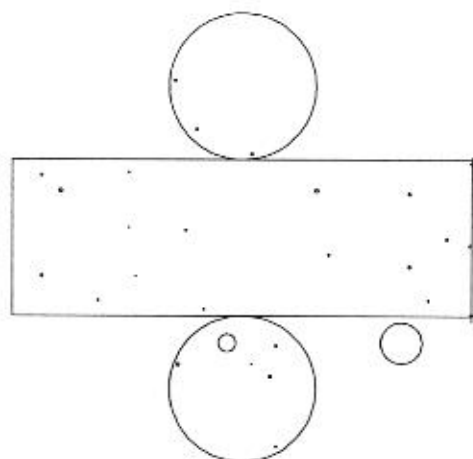


RunMODE: Jan
 TRG ID : 00000001
 T diff. : 1.16
 : 0.116E-02
 FSCC: F0027F90
 TDC0: 8898.0
 O thr. : 0.0
 BAD ch. : no mask
 SUB EV : 0/ 0

★ Super Kamiokande ★
 NUM 4
 RUN 11211
 EVENT 921345
 DATE **-Nov-12
 TIME 11: 1:24

TOT PE: 921.1
 MAX PE: 253.3
 NMHIT : 303
 ANT-PE: 0.0
 ANT-MX: 0.0
 NMHITA: 0

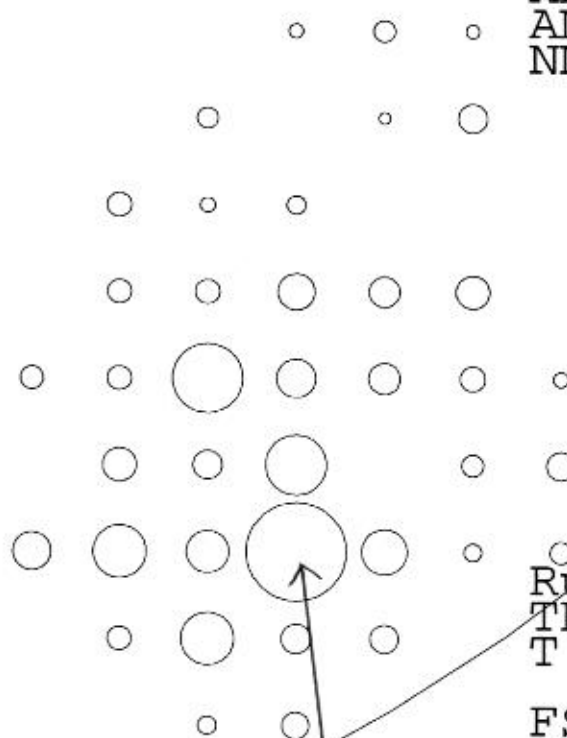
RunMODE: Jan
 TRG ID : 00000001
 T diff. : 2.04
 : 0.204E-02
 FSCC: F0027F90
 TDC0: 8898.0
 O thr. : 0.0
 BAD ch. : no mask
 SUB EV : 0/ 0



★ Super Kamiokande ★

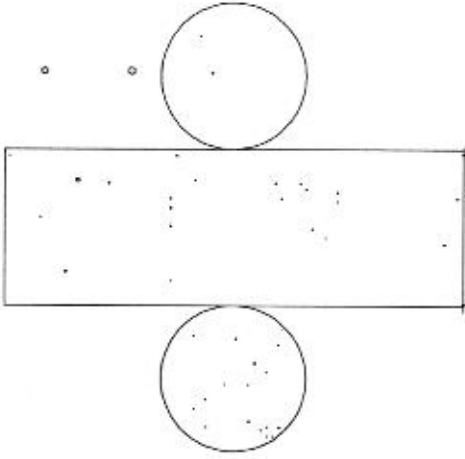
NUM 1
RUN 11211
EVENT 921342
DATE **-Nov-12
TIME 11: 1:24

TOT PE: 642.0
MAX PE: 30.7
NMHIT : 345
ANT-PE: 15.9
ANT-MX: 1.7
NMHITA: 25



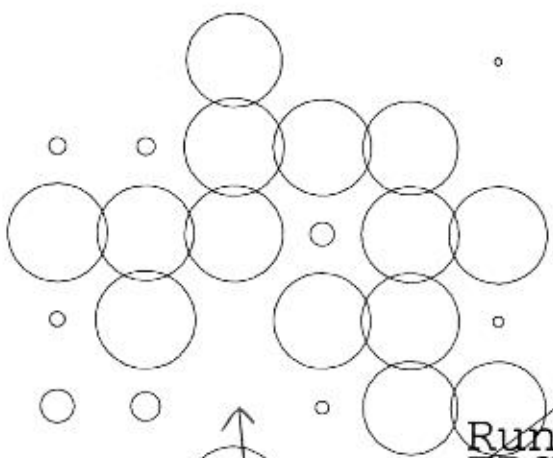
RunMODE: Jan
TRG ID : 00000011
T diff.: 0.776E+05
: 77.6
FSCC: F0027F90
TDC0: 8903.5
Q thr.: 0.0
BAD ch.: no mask
SUB EV : 0/ 0

10810



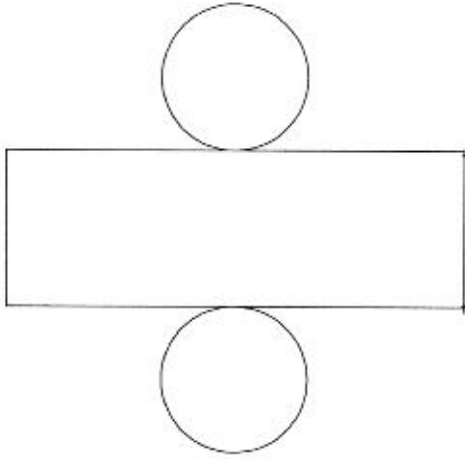
★ Super Kamiokande ★
NUM 2
RUN 11211
EVENT 921343
DATE **-Nov-12
TIME 11: 1:24

TOT PE: 4843.0
MAX PE: 264.2
NMHIT : 366
ANT-PE: 37.2
ANT-MX: 7.9
NMHITA: 47



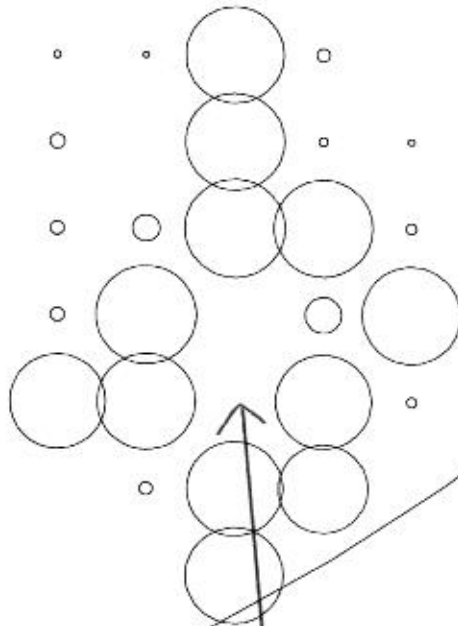
RunMODE: Jan
TRG ID : 00000011
T diff. : 58.8
: 0.588E-01
FSCC: F0027F9C
TDC0: 8898.0
Q thr. : 0.0
BAD ch. : no mask
SUB EV : 0/ 0

10810



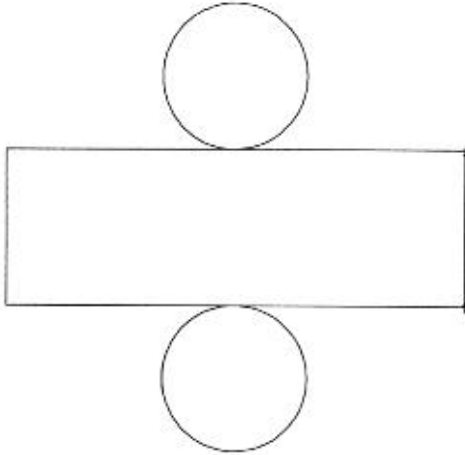
★ Super Kamiokande ★
NUM 3
RUN 11211
EVENT 921344
DATE **-Nov-12
TIME 11: 1:24

TOT PE: 3659.9
MAX PE: 261.0
NMHIT: 317
ANT-PE: 0.0
ANT-MX: 0.0
NMHITA: 0



RunMODE: Jan
TRG ID : 00000001
T diff. : 1.16
: 0.116E-02
FSCC: F0027F90
TDC0: 8898.0
O thr. : 0.0
BAD ch. : no mask
SUB EV : 0/ 0

10810



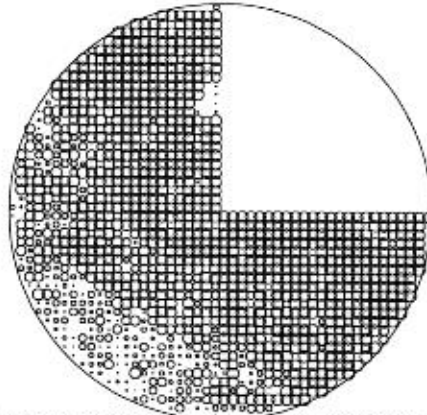
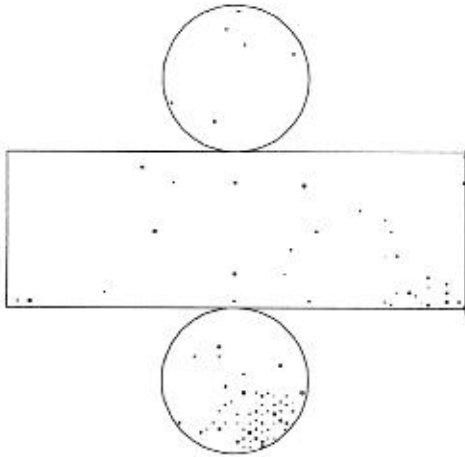
★ Super Kamiokande ★
NUM 4
RUN 11211
EVENT 921345
DATE **-Nov-12
TIME 11: 1:24

TOT PE: 921.1
MAX PE: 253.3
NMHIT : 303
ANT-PE: 0.0
ANT-MX: 0.0
NMHITA: 0



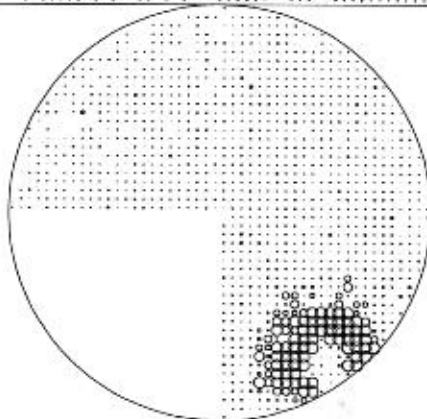
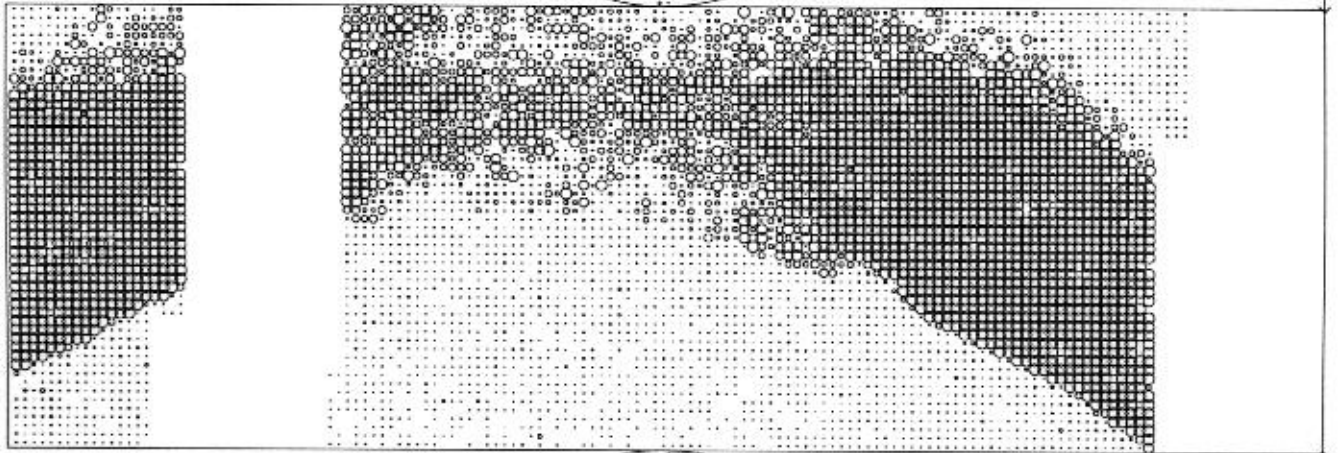
RunMODE: Jan
TRG ID : 00000001
T diff. : 2.04
 : 0.204E-02
FSCC: F0027F9C
TDC0: 8898.0
Q thr. : 0.0
BAD ch.: no mask
SUB EV : 0/ 0

10810



★ Super Kamiokande ★
 NUM 142
 RUN 11211
 EVENT 921483
 DATE **-Nov-12
 TIME 11: 1:24

TOT PE: 842770.8
 MAX PE: 315.3
 NMHIT: 7749
 ANT-PE: 115.8
 ANT-MX: 5.7
 NMHITA: 194



RunMODE: Jan
 TRG ID : 00001000
 T diff. : 724.
 : 0.724
 FSCC: F0027F90
 TDC0: 8902.8
 Q thr. : 0.0
 BAD ch. : no mask
 SUB EV : 0/ 0

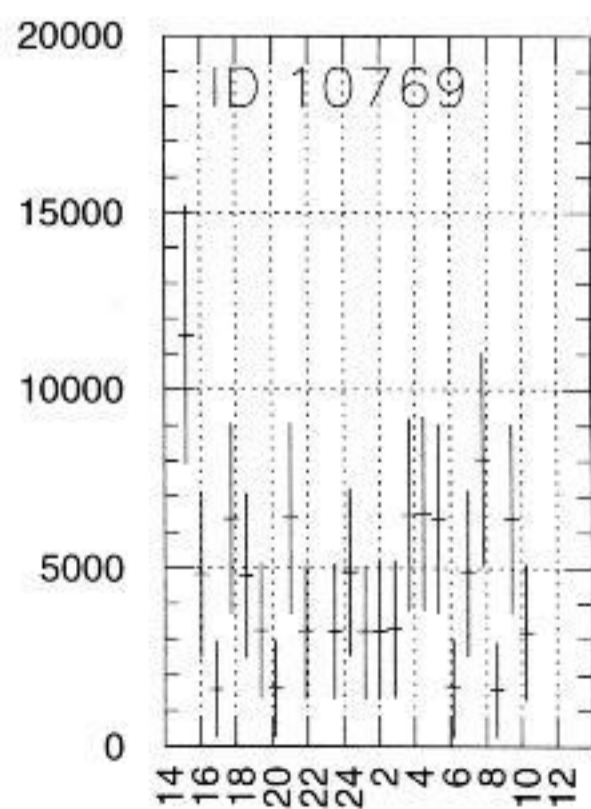
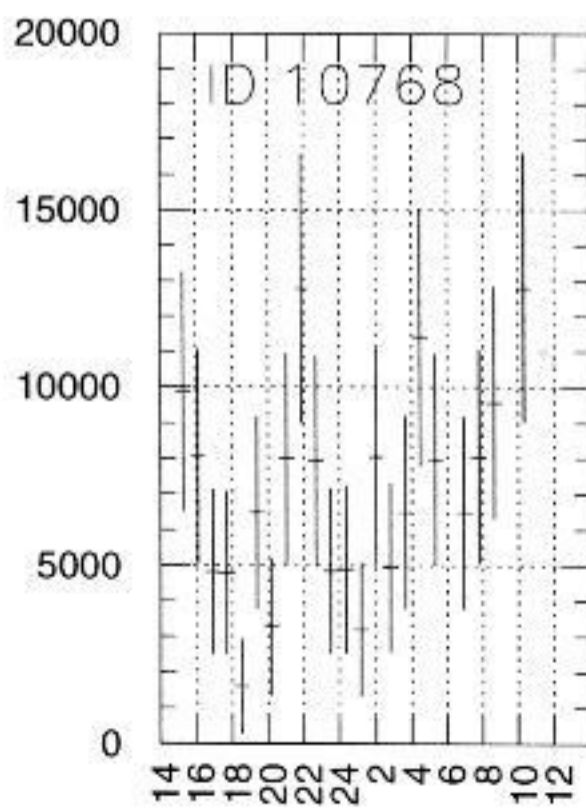
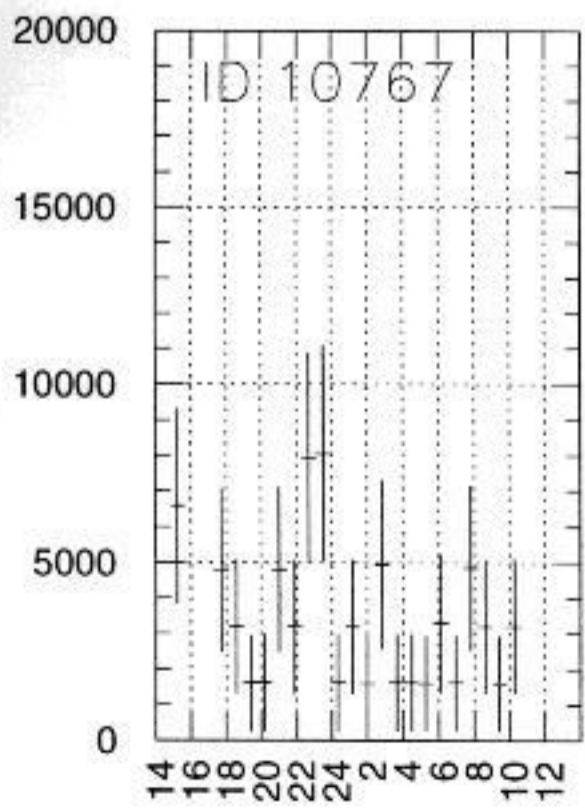
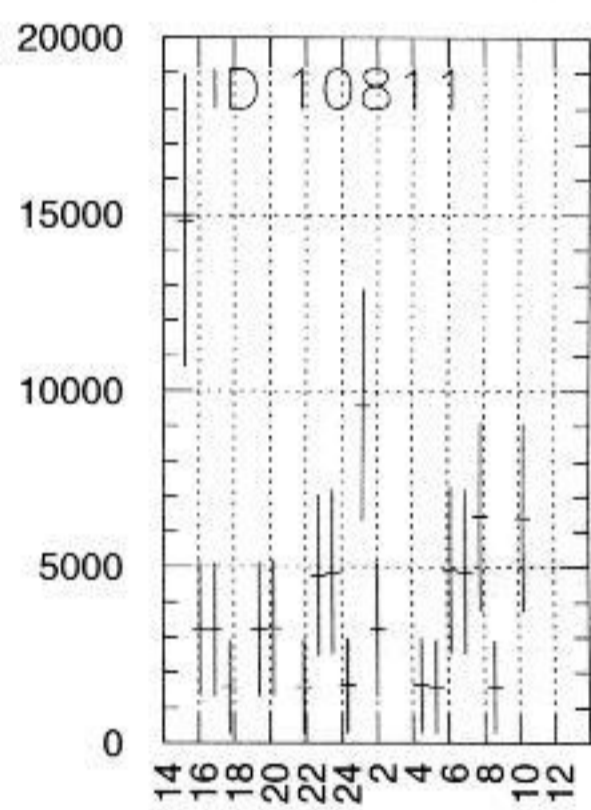
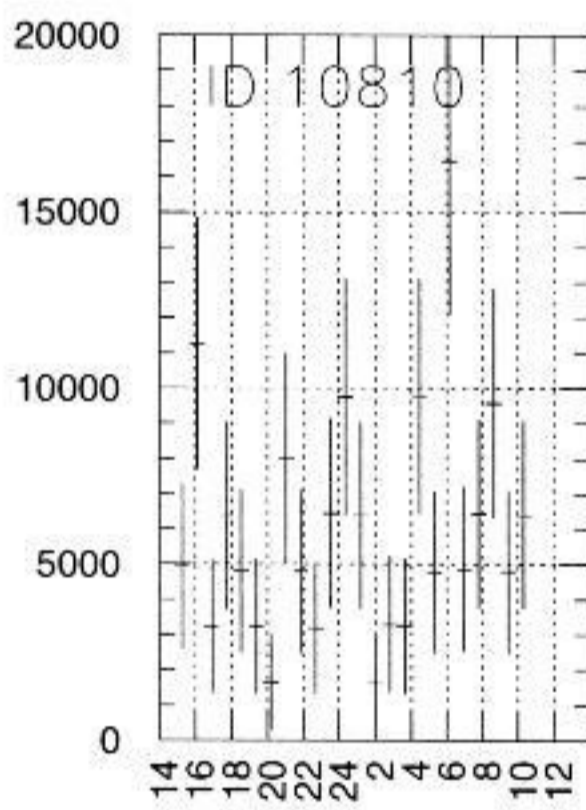
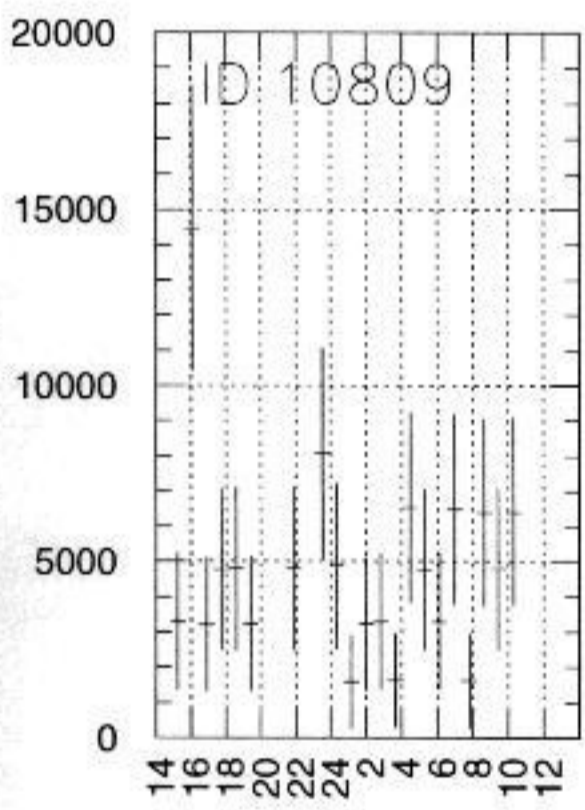
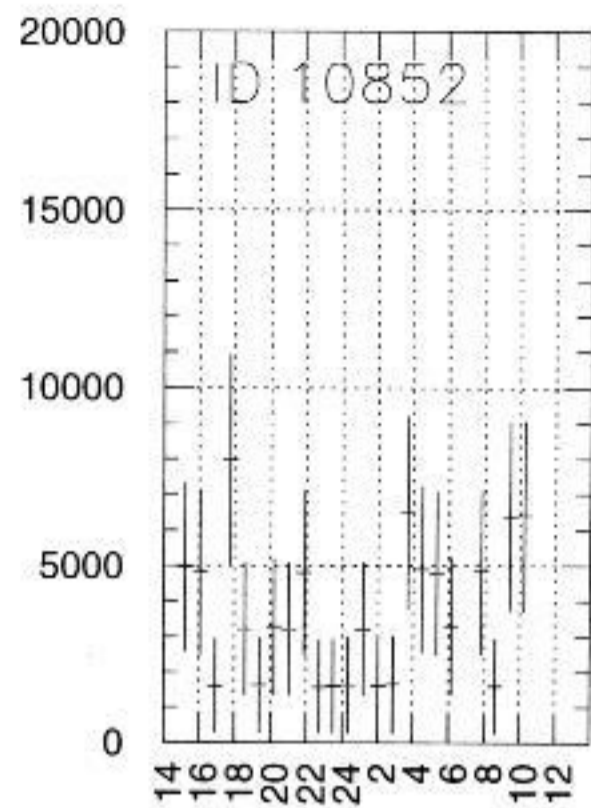
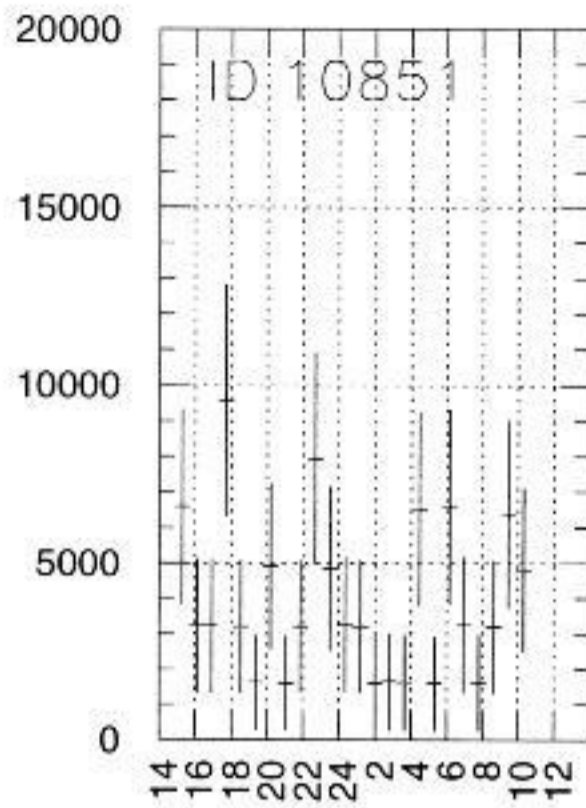
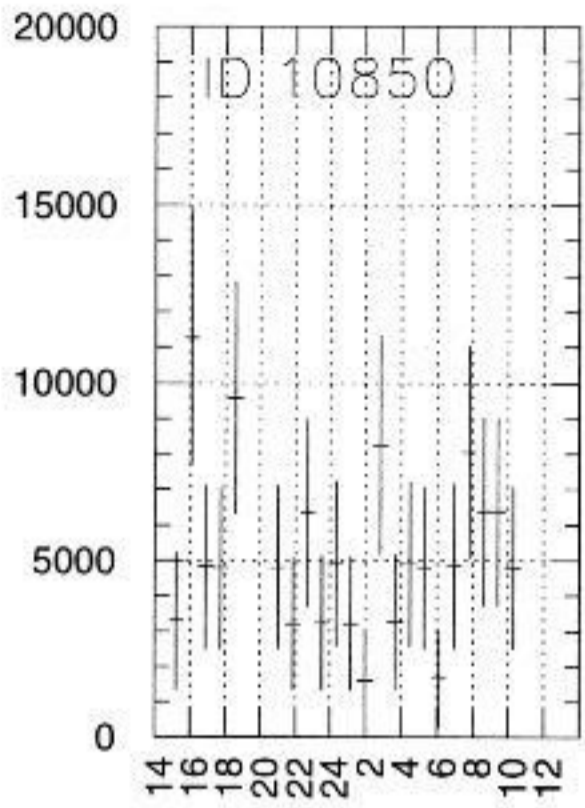
★ Super Kamiokande ★

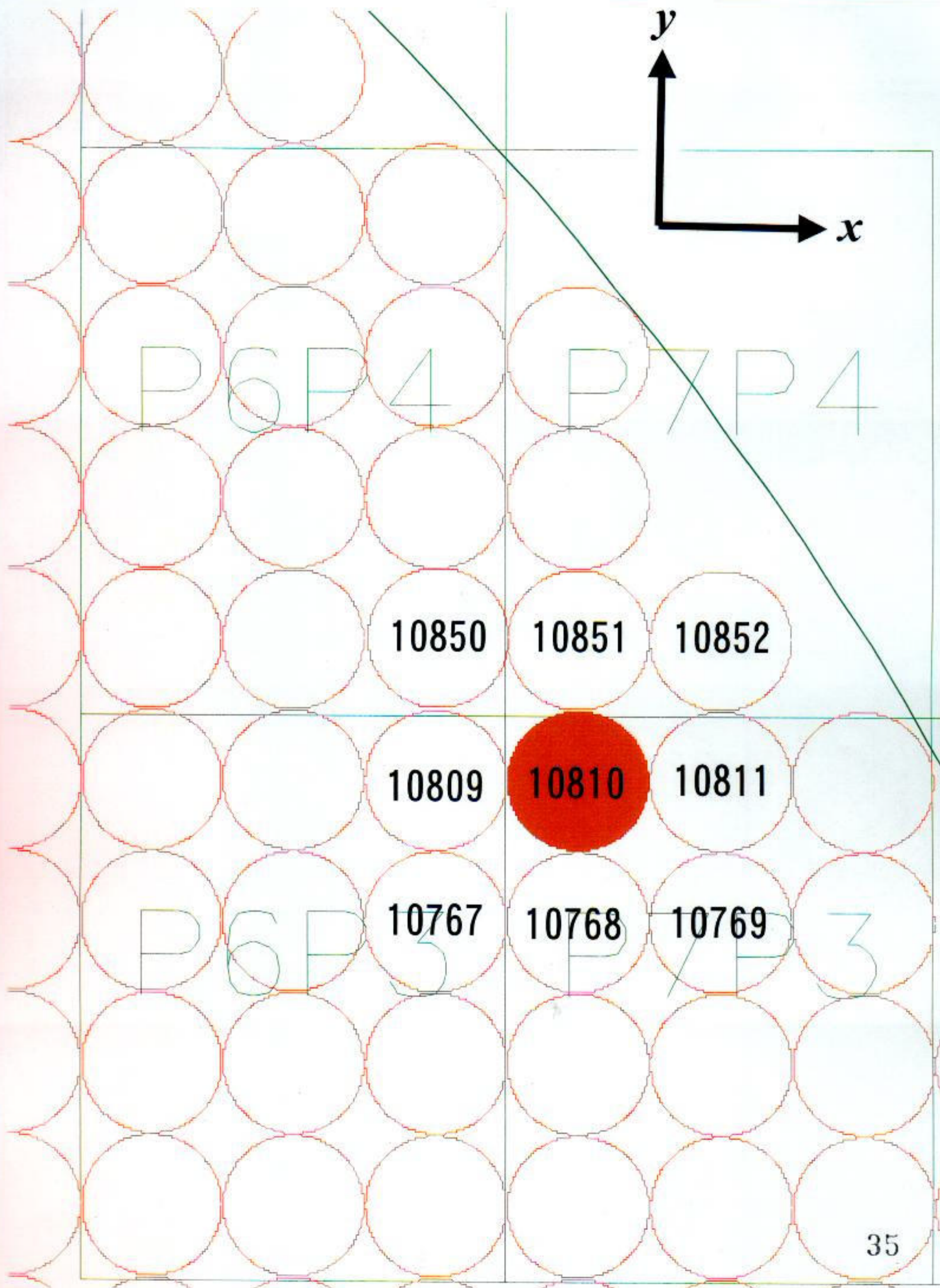
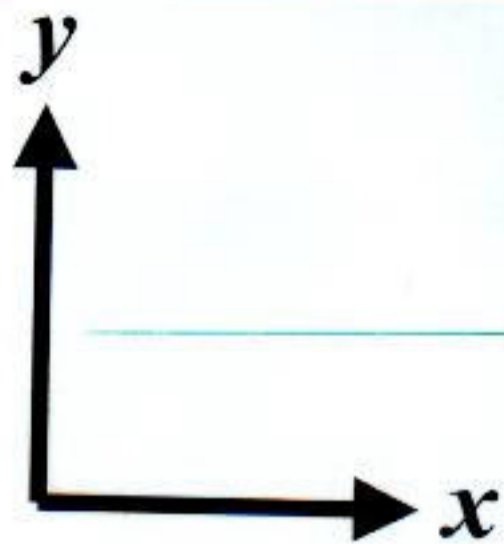
NUM 142
RUN 11211
EVENT 921483
DATE ** - Nov - 12
TIME 11: 1:24

TOT PE: 842770.8
MAX PE: 315.3
NMHIT: 7749
ANT-PE: 115.8
ANT-MX: 5.7
NMHITA: 194

RunMODE: Jan
TRG ID : 00001000
T diff. : 724.
: 0.724
FSCC: F0027F90
TDC0: 8902.8
Q thr. : 0.0
BAD ch. : no mask
SUB EV : 0/ 0

10810





10850

10851

10852

10809

10810

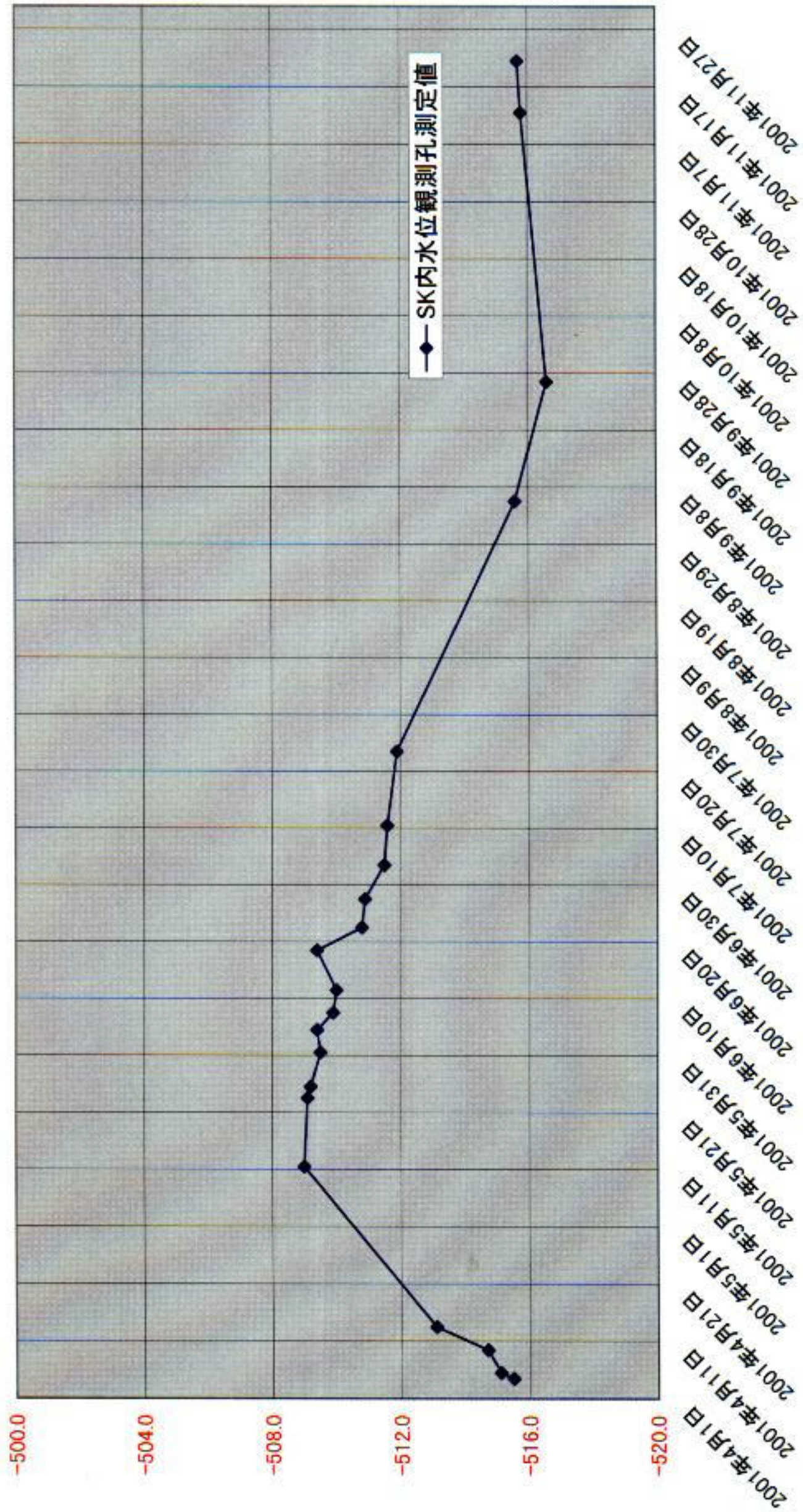
10811

10767

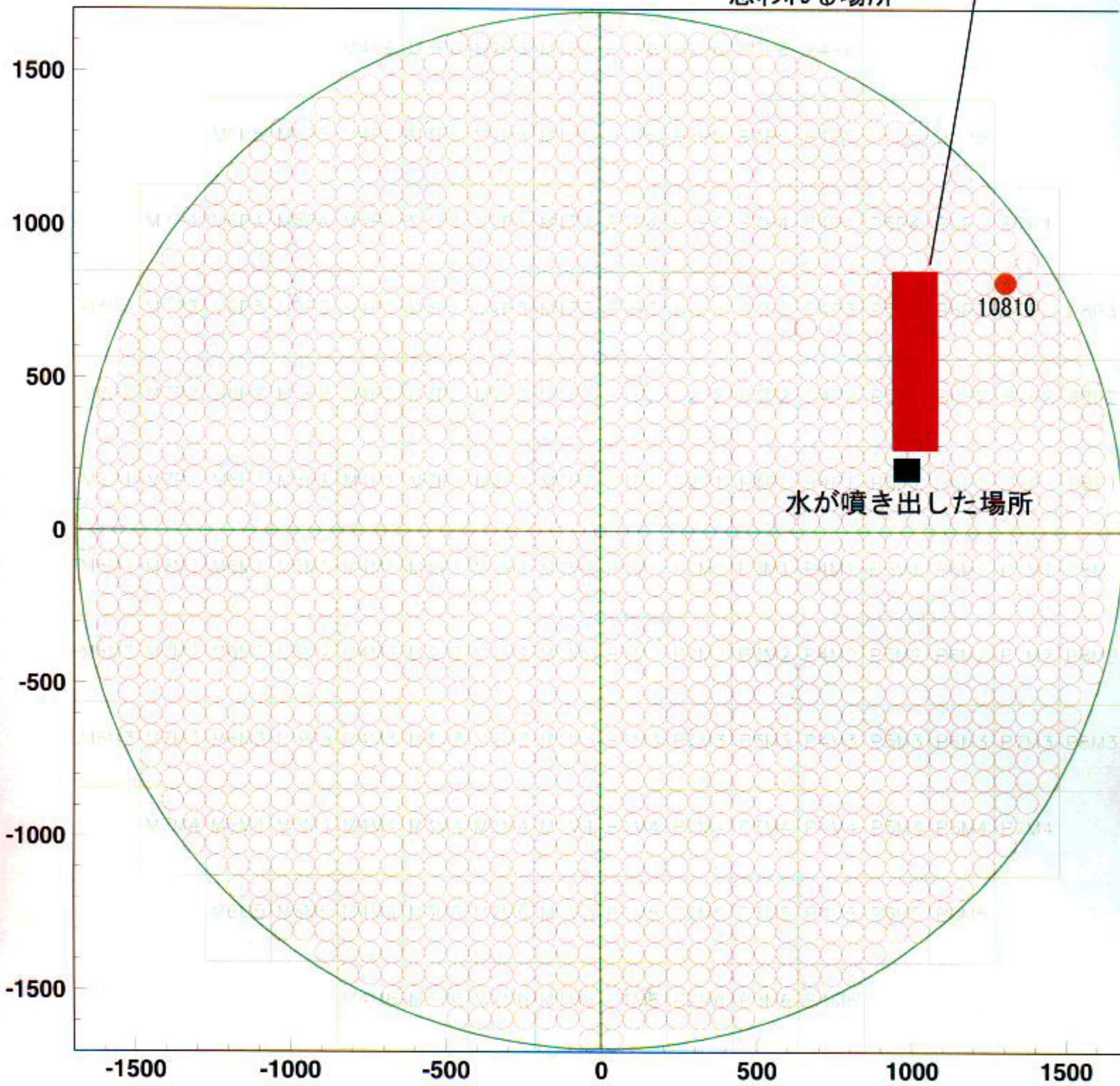
10768

10769

SK内水位観測孔測定値

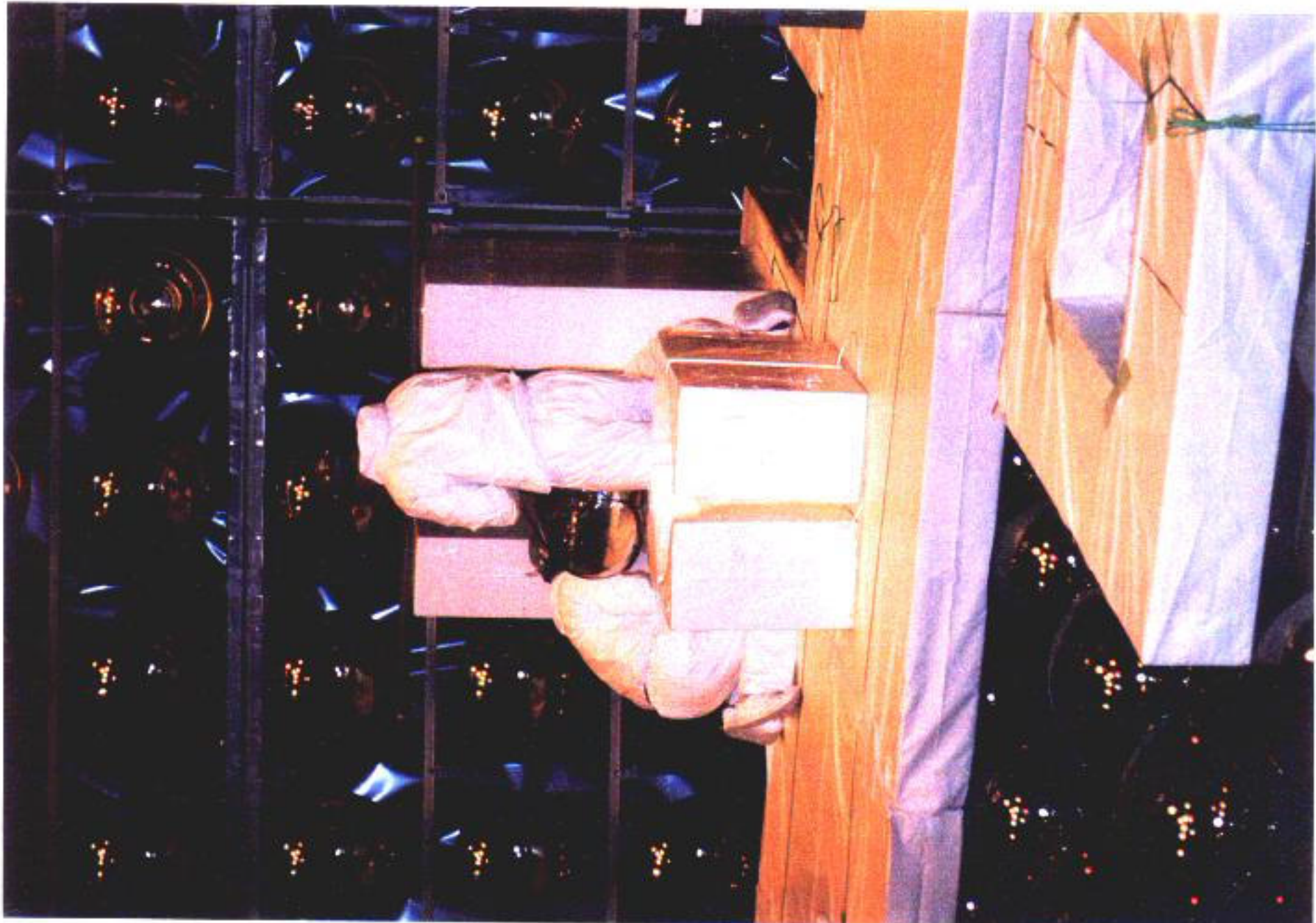


アンカー一部溶接が破断したと思われる場所

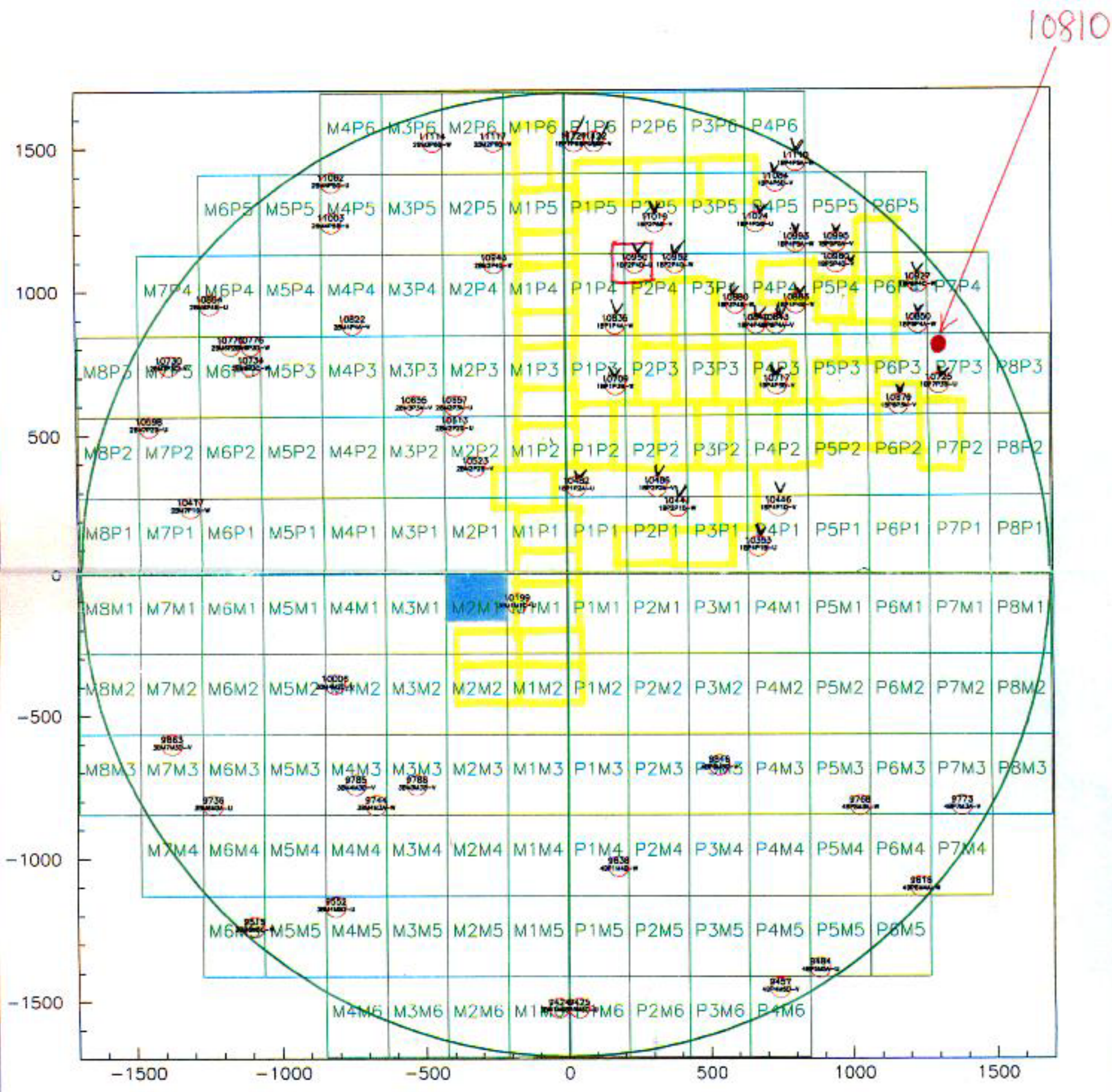


水が噴き出した場所

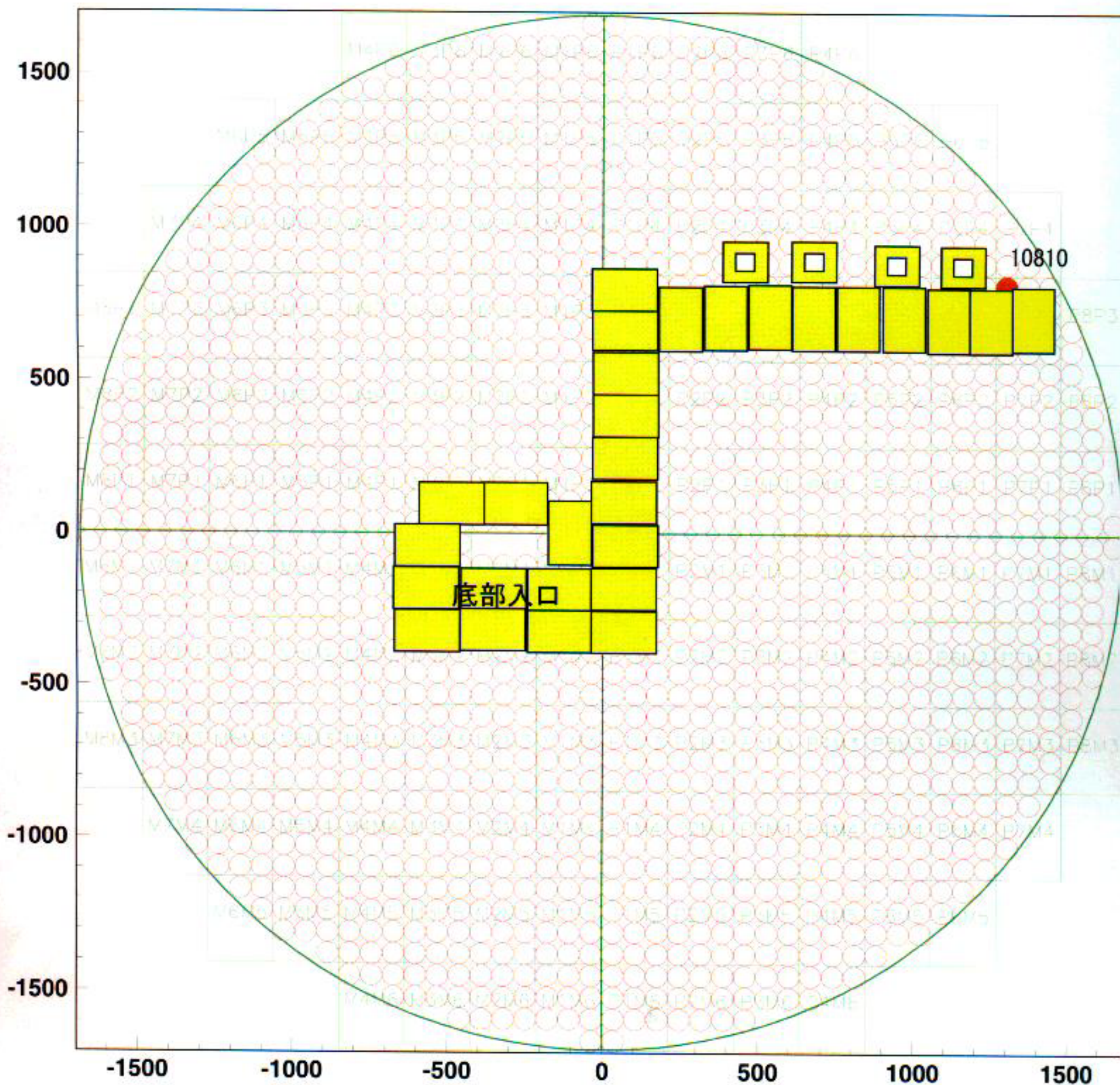




資料：底面ボード配置図



増倍管清掃作業 ボード配置図



資料：底面作業実験

スーパーカミオカンデ改修工事の工法をチェックするため、1) 宇宙線研究所柏キャンパスにおけるモックアップによる作業テスト、2) 日立製作所における増倍管破壊テストを行った。

1) 宇宙線研究所でのモックアップによる作業テスト（2001年2月～6月）

実物大の底面スーパーモジュール(増倍管3×4本、計12本)を作成し、実際に増倍管の上に作業で使用する発泡スチロールボードを置いてその上での交換作業を繰り返し行い、工程、安定性、作業性の確認を行った。ただし安全の確保から、モックアップの増倍管は実物と同様だが大気圧の空気が充填されているものを使った。(写真1、2を参照)

ボード上は2、3名の作業者が増倍管の取り外し、取り付け作業を実際の工程に沿って行った。これら作業中はもちろんボード上で飛び跳ねも増倍管が破損するなどの危険なことは起こらなかった。

2) 日立化成テクノプラントでの増倍管破壊テスト(2001年4月20日)

実際の増倍管は内部が真空であり、その際の強度を調べるため、実物を用いて破壊試験を行った。試験の概略を写真4に示す。実物の底部取り付け金具を用いて上向きに固定された1個の増倍管の光電面上に、改修作業に用いるものと同じ厚さの発泡スチロールボードを置いた。ボードの4隅に穴をあけ、ガイド用の支柱に通し、水平方向にずり落ちないようにした。撃力テストの場合には、ボードの50cm 上方から重りを落として破壊するか調べた。また重りを静かにボードに乗せ、静加重に対するテストも行った。その結果を表1にまとめる。実際の作業ではボードは6個の増倍管で支えるため加重が分散するので、作業者が同一ボードを数名歩行してもその際の撃力は、増倍管を破壊するには十分小さいと判断した。

	増倍管	重り重さ	落下距離	結果
1回目	増倍管 A	78kg	50cm	爆縮せず。取り付け金具変形。衝突がオフセット気味で力が逃げた可能性
2回目	増倍管 A	103kg	50cm	爆縮して木っ端微塵になった。
3回目	増倍管 B	78kg	50cm	爆縮せず。金具は変形しガラスに当たった部分にクラック発生。その後ゆっくり真空破壊。
4回目	増倍管 C	128kg	0cm	静加重2分間。爆縮せず。金具塑性変形。
5回目	増倍管 C	153kg	0cm	静加重1分間。爆縮せず。金具塑性変形。
6回目	増倍管 C	53kg	50cm	爆縮せず。金具変形。クラックもなし。

表1 増倍管破壊テスト結果

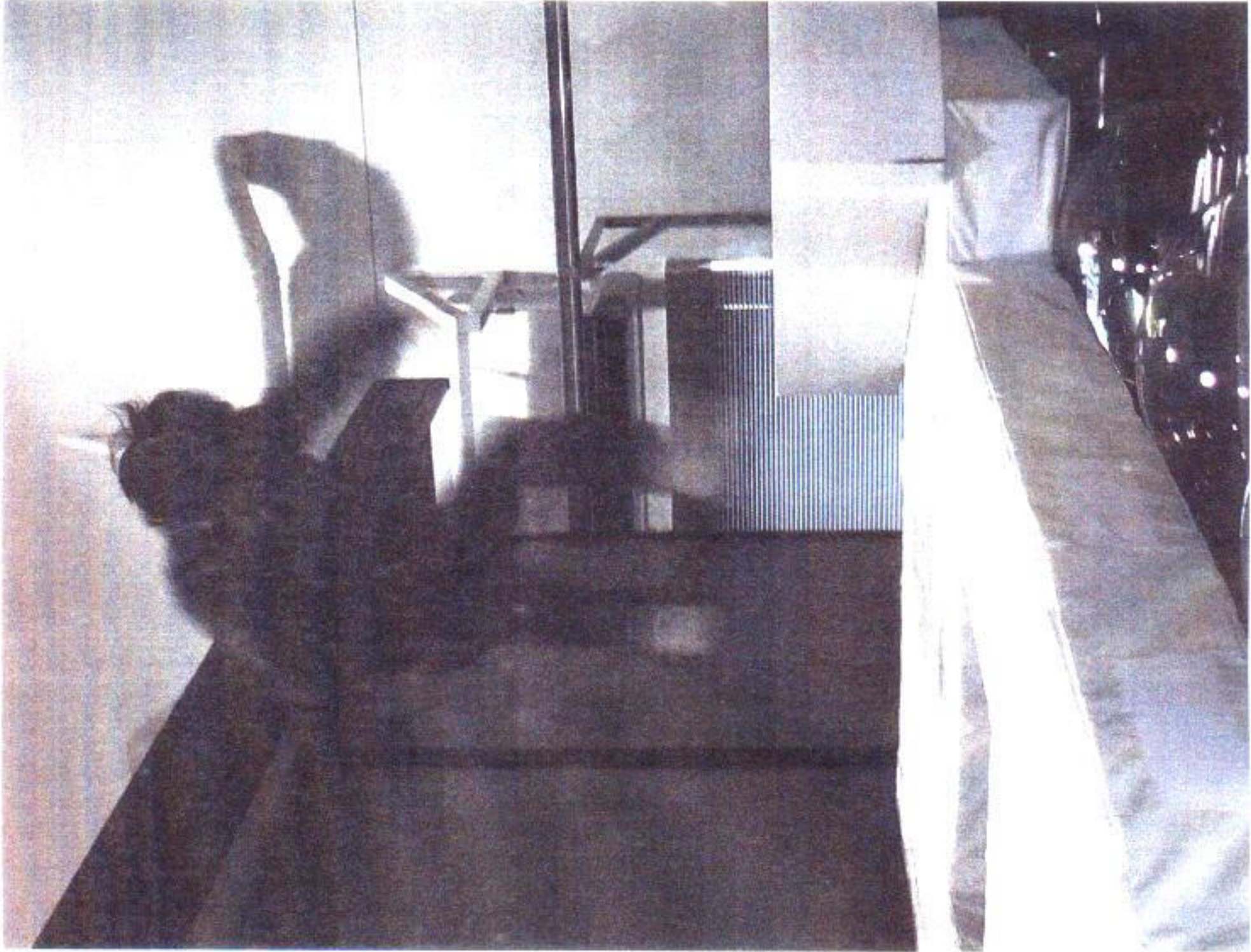


写真2

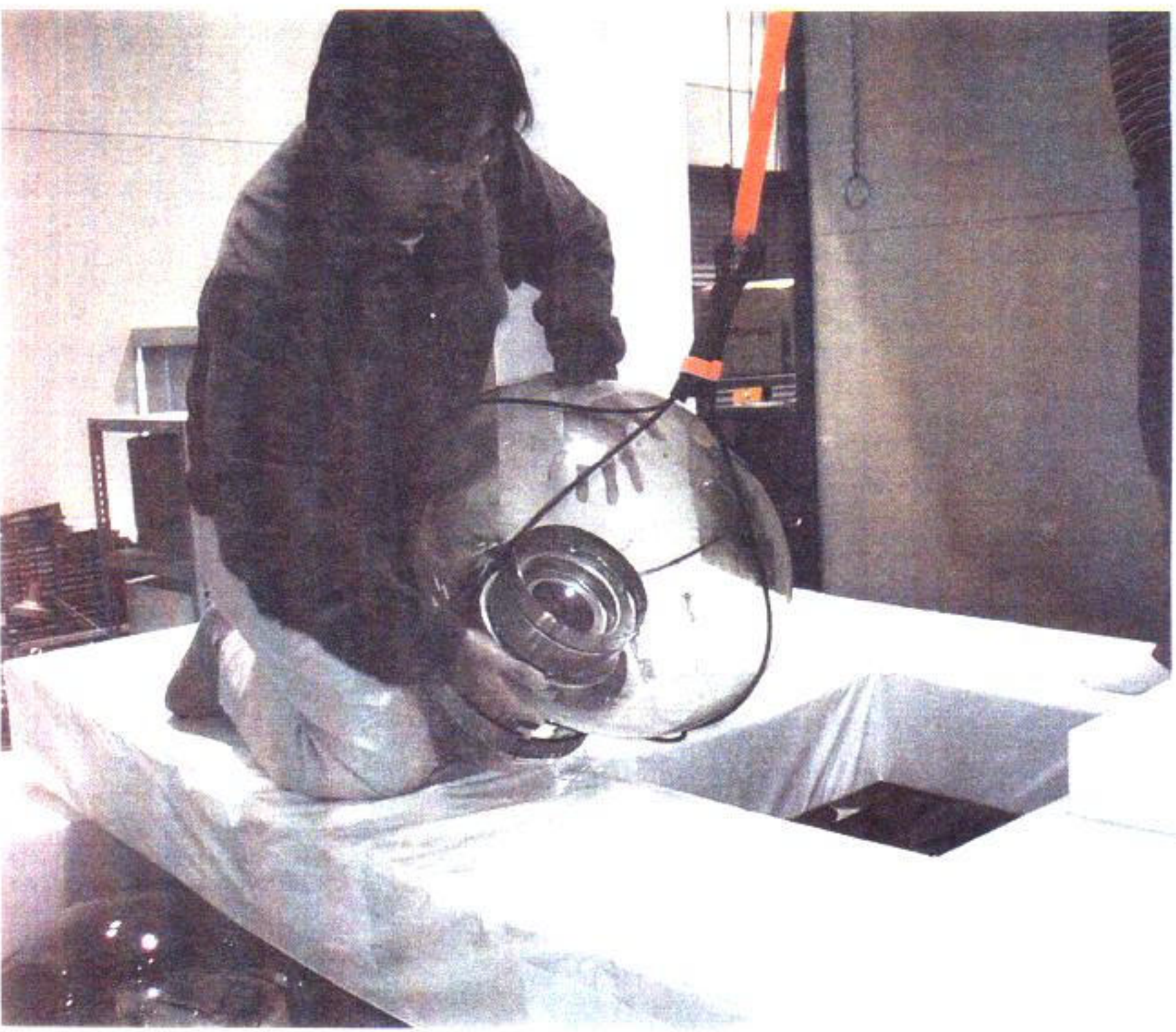


写真1

写真 3



写真 4

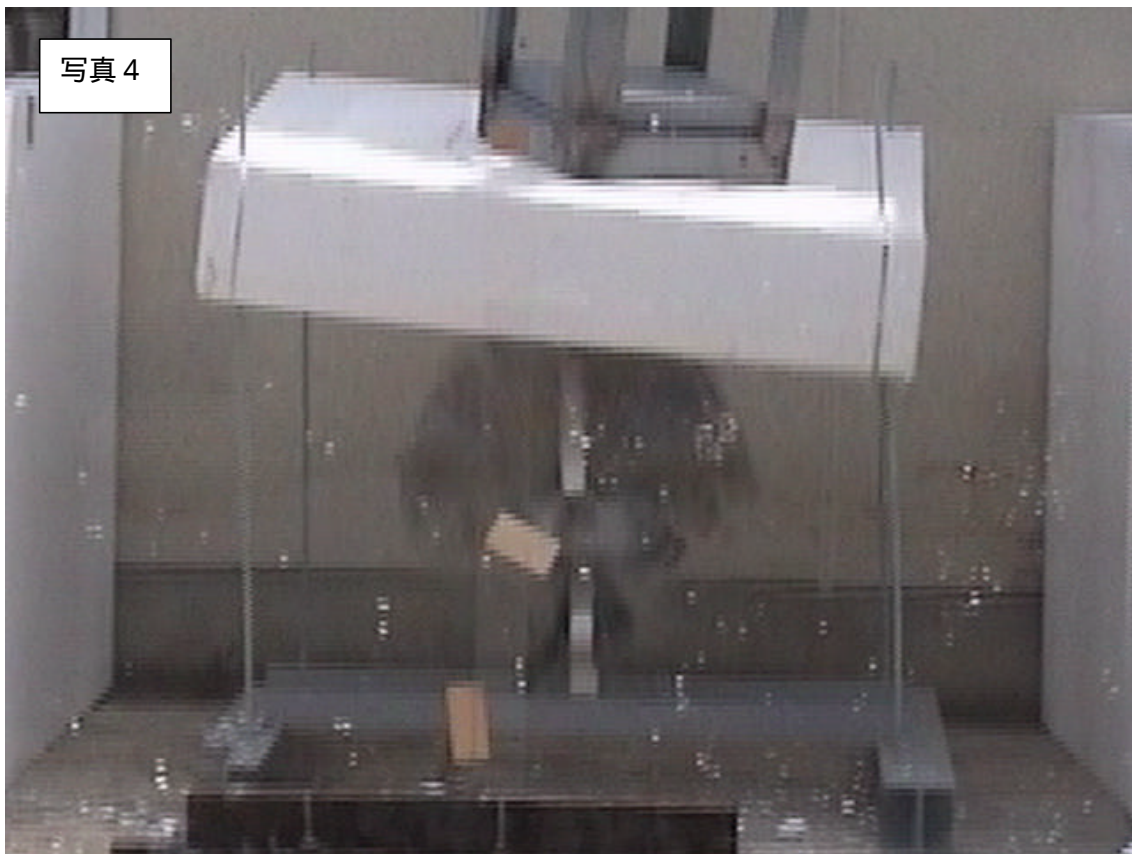
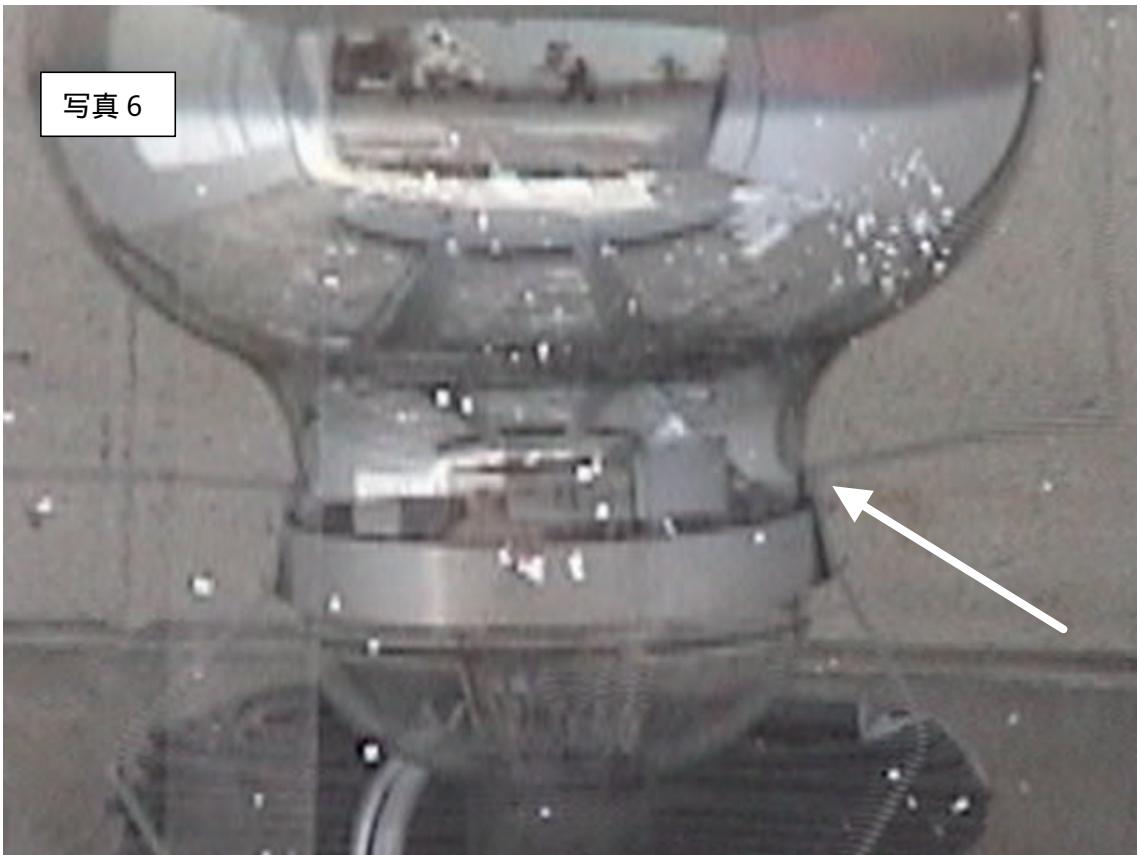


写真5



写真6



写真説明

写真 1 底面モックアップによる増倍管取り付け作業テスト(1)

写真 2 同 (2) 発泡スチロールボード上で飛び跳ねテスト

写真 3 増倍管破壊テスト概観

写真 4 増倍管破壊テストA。爆縮の瞬間 (103kgおもり、50 cm落下時)

写真 5 増倍管破壊テストB。変形した取付金具 (78kgおもり、50 cm落下時)

写真 6 写真 6の拡大。矢印はクラックが発生した部分。

最初の一撃の原因究明の為にやるべき20inchPMTテスト案

2001.11.19

テスト項目	HPKでできるか	方法	時間	テスト完了日又は期間
1 交換したPMTの検査				
1 外観検査	○	目視確認する(浜松にある全数)HPKと日本無線ガラスで検査	10分/本	11/22(木)11/21中間報告
1 ガラスの結晶化	○	目視確認する(浜松にある全数)HPKと日本無線ガラスで検査	10分/本	11/22(木)11/21中間報告
1 傷	○	目視確認する(浜松にある全数)HPKと日本無線ガラスで検査	10分/本	11/22(木)11/21中間報告
1 ひび	○	目視確認する(浜松にある全数)HPKと日本無線ガラスで検査	10分/本	11/22(木)11/21中間報告
2 圧力試験	○	1)タンク底面に配置されていたPMT及びシステムフラットのPMTを含む数本試験 試験条件は別途相談	1日/本	11/22(木)11/21中間報告 11/23(金)~11/27(火)
4 圧力サイクル試験	○	サイクル、圧力は要御相談	1日/本	
4 温度サイクル試験	○	現在装置は2台保有。温度範囲は-20~80°Cが可能(条件は要御相談)	試験方法によるが1日/本	
4 ガラスが変質していないか(機械的、化学的)	3)○	2)HPKより東レリサーチセンターに依頼する。水にさらされていないHPMTと比較		
3 圧力試験	○	1)6.5気圧24時間放置、上記目視検査後損傷があった場合、圧力試験をする。		
4 底面作業をシミュレーションしたあと傷及び圧力試験	○	目視確認する	30分/本	11/28(水)~11/30(金)
4 水中で生き残ったPMT	○	1)6.5気圧24時間放置	1日/本	シミュレーション後ただちに
4 ボッティング部を含めて圧力試験(K, SK)	○	神岡でお願いしたい(装置は貸与)	1日/本	シミュレーション後ただちに
4 ボッティング部形状変更	x	過去のデータより検討レポートをHPKより提出する。		

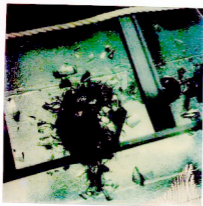
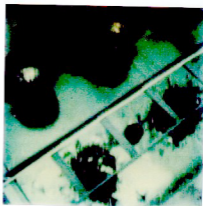
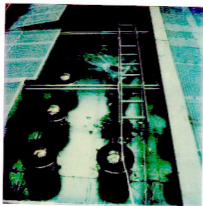
- 1) 現状の圧力容器は、6気圧にした後、2.5時間後5気圧、16時間後4気圧、18時間後3.5気圧になる。このため、バッキンなどの交換後、整備が必要。整備後でも多少の減圧が予想される。
 - 2) 東レリサーチセンター TEL052-571-5510, FAX052-571-5610
 - 3) 試験結果は得られるがその結果から破壊につながるかの判断はHPKではできない。
- * 圧力容器は現在1台保有。今後の検査にはHPKと神岡に各1台必要と考える。

検査手順

浜松ホトニクス(HPK)に運び込まれた全てのPMTのガラスの状態を含めた外観検査を行なう
タンク底面のPMT(システムフラットPMTも含め)の圧力試験を行なう。(11/22の委員会指示に基づき実施すること)
目視検査されたPMTの内損傷があった場合、PMTを圧力試験する。(11/22の委員会指示に基づき実施すること)
優先順位を決め残りの試験を行なう。

Kamiokande PMT 破壊状況 at ICFK

資料: 衝撃波試験



SuperKamiokande PMT 衝撃解析(第2報)

2001/11/20 三井造船(株)

前回解析は球形を忠実に再現できていない(四角錐としているため多面体の一部となる)ため、本解析では球形の一部を取り出したモデルにて解析を行った。

1. 解析モデル

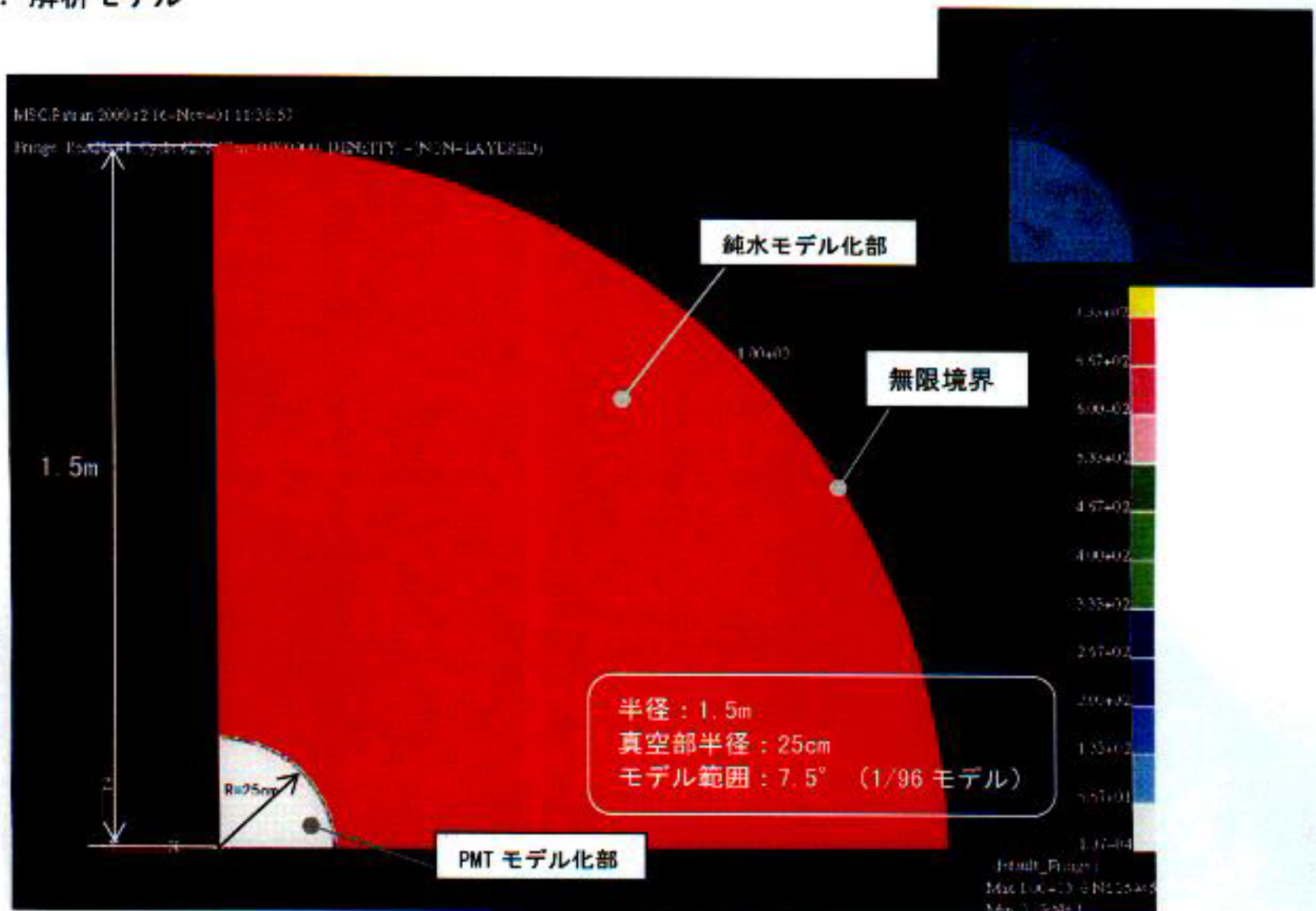


図-1 解析モデル概要

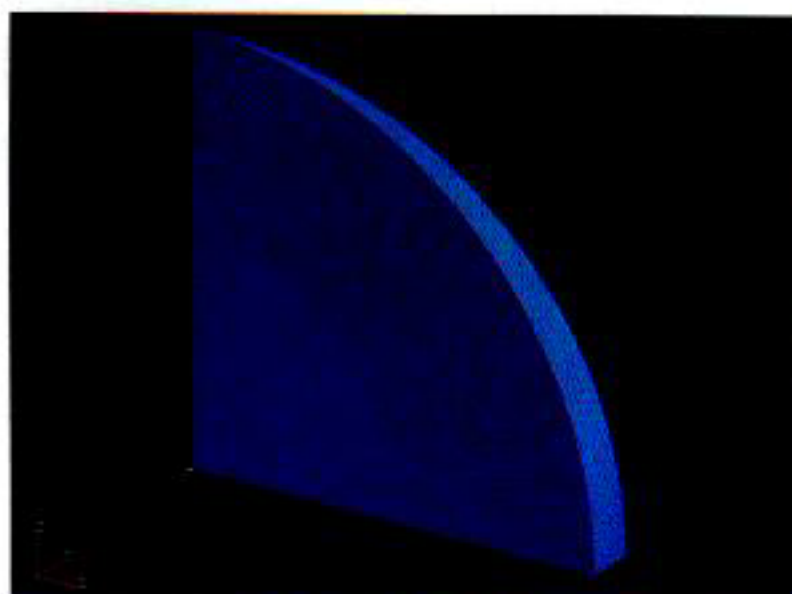


図-2 解析モデル

【解析モデル】

- 1) モデル
半径 1.5m の球体
- 2) PMT モデル (1 個のみモデル化)
体積 60% の球体 (半径 25cm)
- 3) 境界条件
モデル外縁境界条件：無限境界
その他境界：対象条件
- 4) 圧力条件：30m 水圧負荷

2. 解析結果

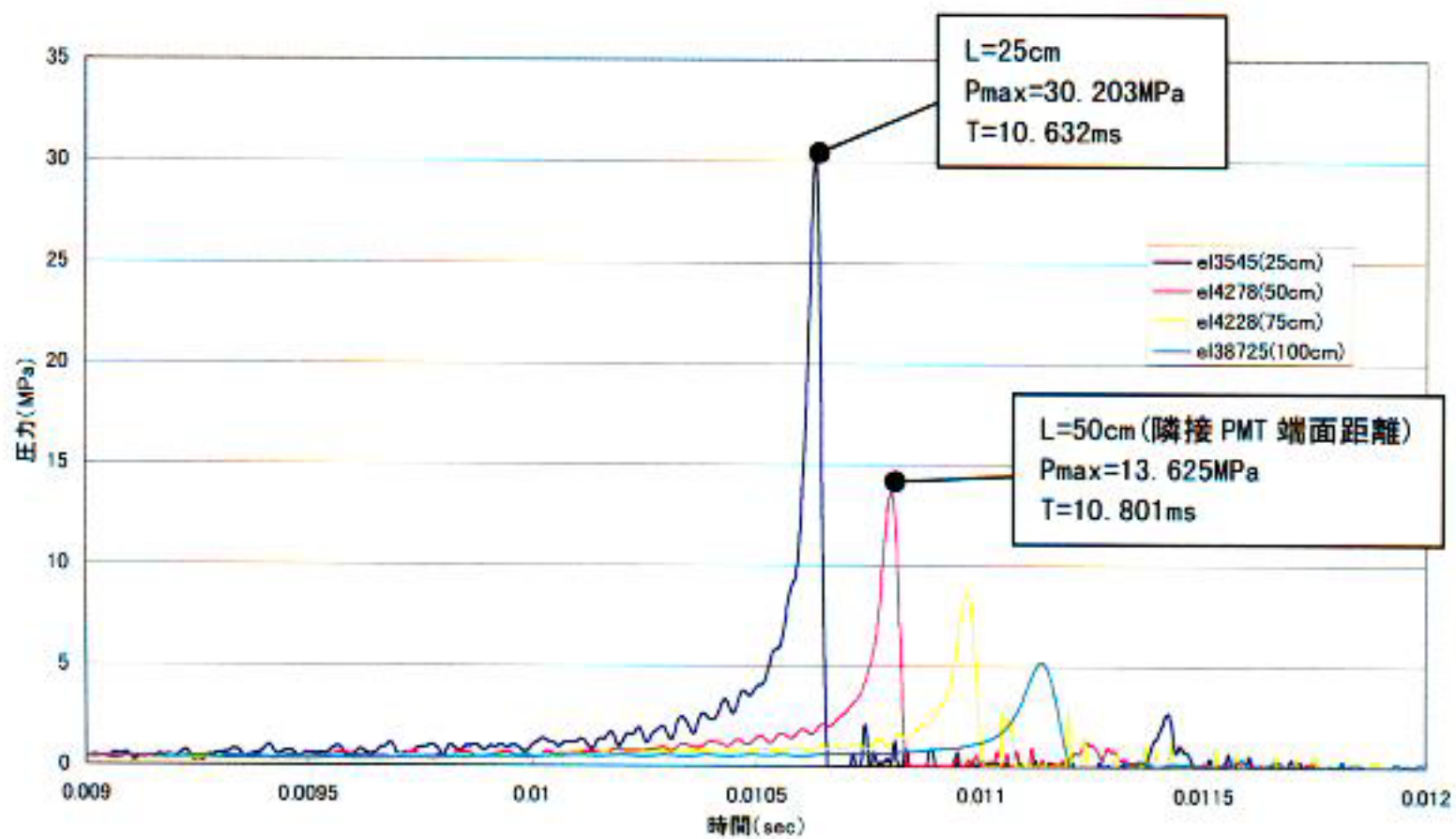


図-3 圧力時刻歴

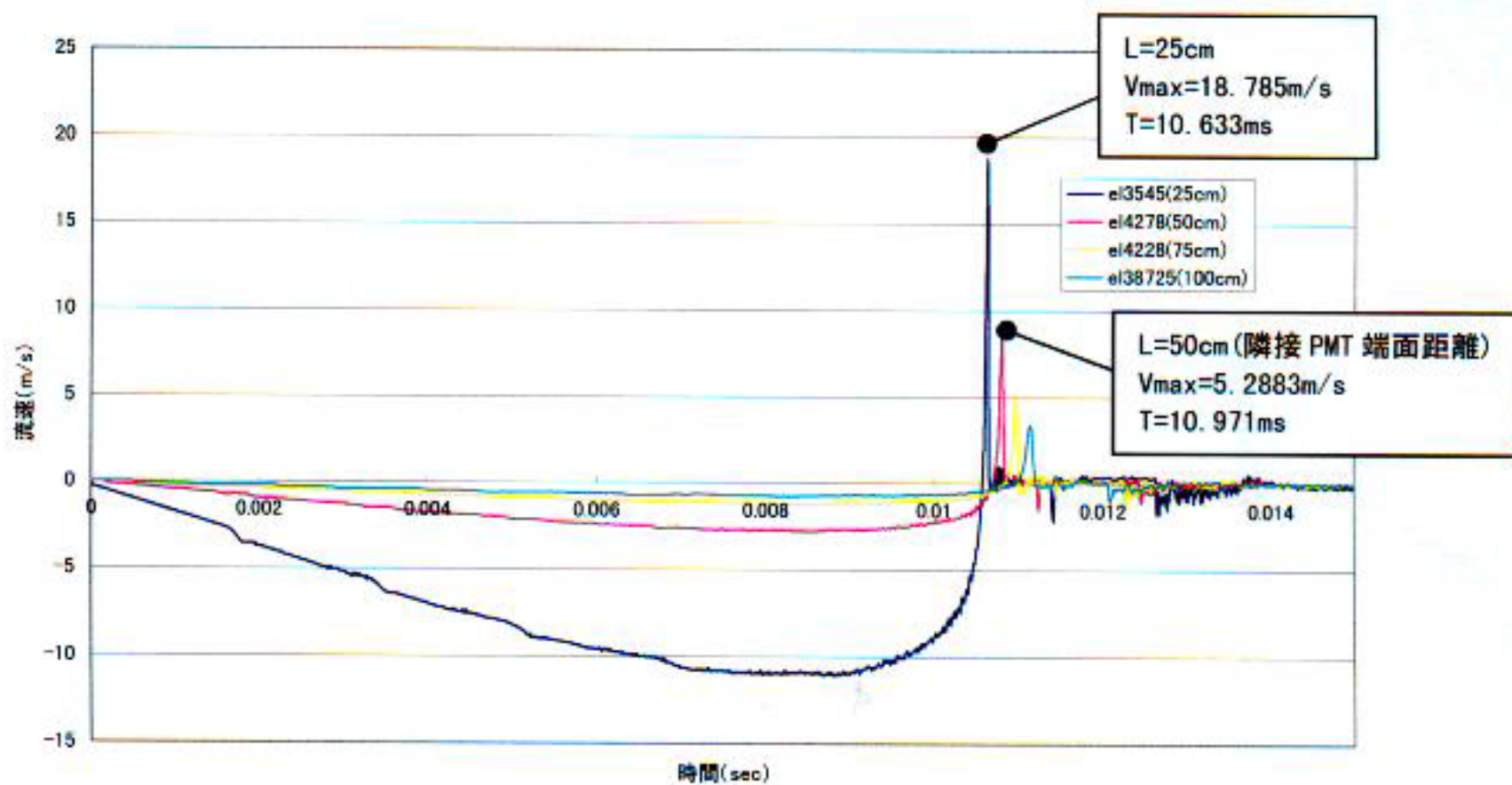


図-4 流速時刻歴

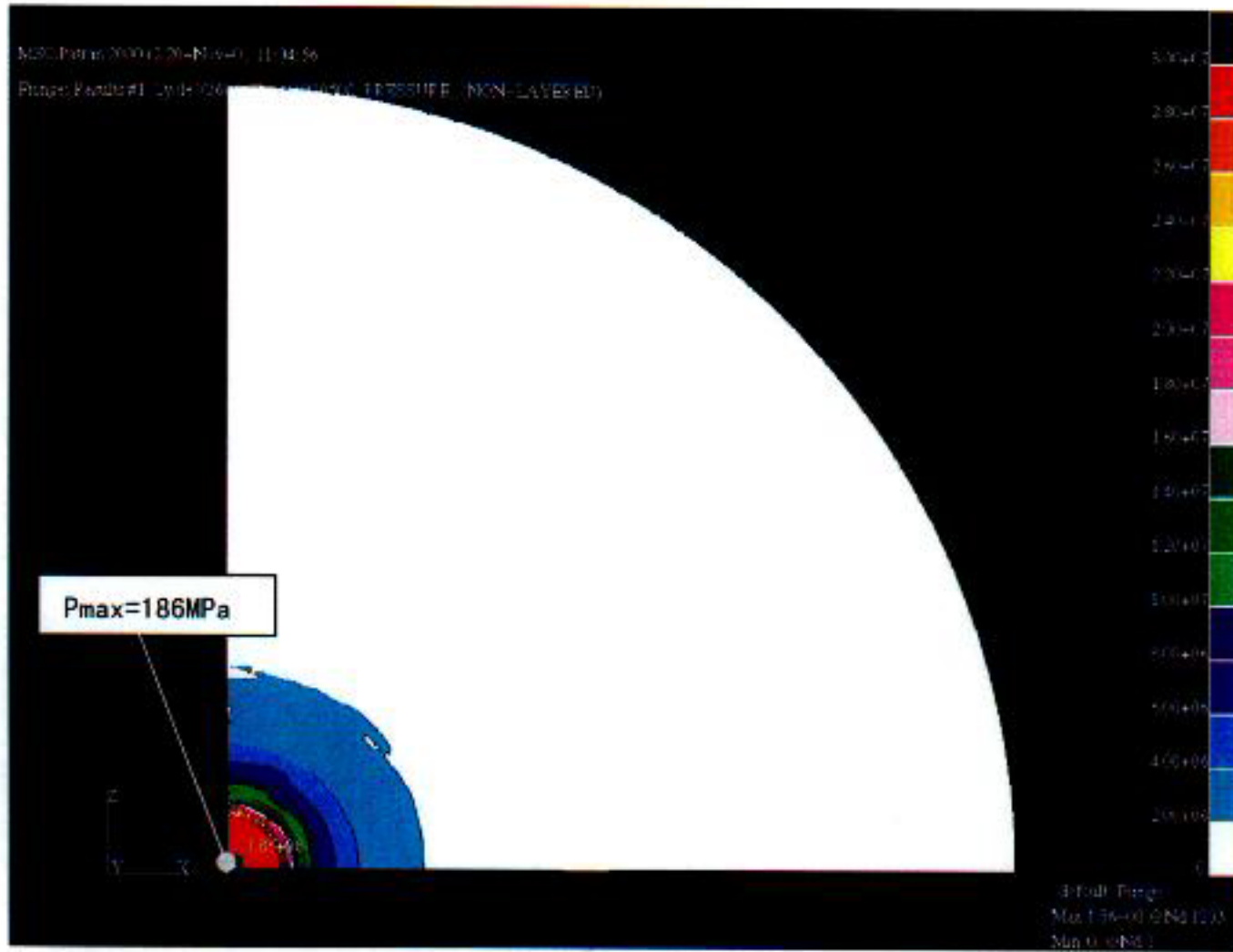


图-5 压力分布图 (10.5ms)

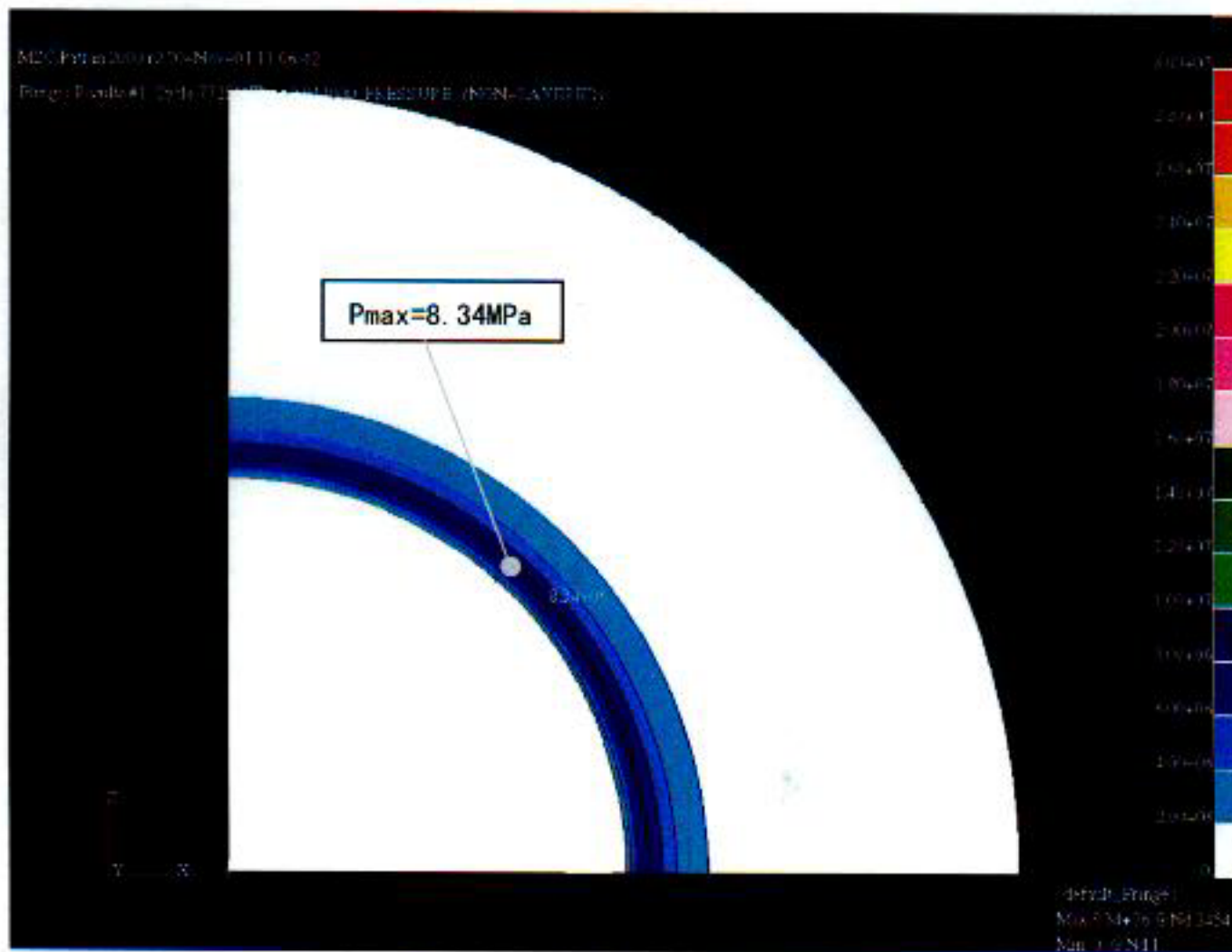


图-6 压力分布图 (11.0ms)

3. 考察

・図-3、4より、PMTの破壊により発生する、隣接するPMTの端面（図面上：461mm→出力点：500mm）での衝撃圧力及び流速は、

衝撃圧力 : 13.625 MPa (PMT破壊より10.801ms後)

流速 : 5.2883 m/s (PMT破壊より10.971ms後)

となり、かなり大きな衝撃が隣接するPMTにかかったことがわかる。

資料：原因究明のまとめ

