

JAERI-M

7581

電子リニアックによる熱中性子散乱装置

1978年3月

本橋治彦・坂本正誠

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

電子リニアックによる熱中性子散乱装置

日本原子力研究所 東海研究所物理部

本橋治彦・坂本正誠

(1978年2月1日受理)

固体及び液体による中性子回折の研究を行うため、パルス中性子源として原研リニアックを使用し、TOF型中性子分光器を作った。ここでは装置の概要と特性について述べる。

観測された中性子の波長範囲は $0.3 \text{ \AA} \sim 4 \text{ \AA}$ である。

またカドミウム板を挿入したポリエチレンモデレーターを製作し、パルス中性子の時間分解能 $\Delta t/t = 5 \times 10^{-3}$ の値を得た。

Linac Neutron Spectrometer

Haruhiko MOTOHASHI and Masanobu SAKAMOTO

Division of Physics, Tokai Research
Establishment, JAERI

(Received February 1, 1978)

A time-of-flight spectrometer for neutron diffraction study in solids and liquids has been constructed, which uses pulsed neutrons produced by the JAERI electron linac. This report describes its layout and performance. Using a heterogeneously poisoned moderator with cadmium sheets, the time resolution is $\Delta t/t=0.005$ in measurement of diffraction profile of LiF single crystal, and usable wavelength of neutrons is from 0.4 to 4Å in diffraction pattern of Ni polycrystal.

Key word;

neutron scattering, neutron diffraction, neutron optics, neutron moderator, time-of-flight spectrometer, crystal structure, time resolution, solid state physics, linac, JAERI.

目 次

1. 結 言	1
2. 中性子線源としてのリニアック	1
3. 装置の概要	3
4. ターゲット	4
4.1 ターゲットの材料	4
4.2 ターゲットの熱除去	5
4.3 ターゲットのしゃへい	7
5. モデレーター	9
5.1 水の場合	9
5.2 ポリエチレンの場合	10
5.3 モデレーターの選択	11
6. 結 論	12
謝 辞	13
参考文献	13
Appendix : 装置各部の仕様	14

Contents

1. Introduction	1
2. Estimation of JAERI LINAC Neutron Source	1
3. Outline of Instruments	3
4. Neutron Target	4
4.1 Target Materials	4
4.2 Target Cooling	5
4.3 Target Shielding	7
5. Moderator	9
5.1 H ₂ O Moderator	9
5.2 P.E. Moderator	10
5.3 Choice of Moderator	11
6. Conclusion	12
Acknowledgement	13
References	13
Appendix: Detail of specification	14

1. 緒 言

我々は1963年にJRR-2原子炉に位相差チョッパーを据付、パルス中性子法による中性子非弾性散乱の実験を開始した。その後このチョッパーによるパルス中性子型中性子分光器は高分解能、低バックグラウンドの分光器の要求を満足させるため、結晶-チョッパー型⁻¹⁾の混合装置 (Hybrid type) として改良されて来た。この装置は現在も我国唯一のチョッパー型中性子分光器として活躍している。我国では今日まで原子炉にまさる中性子源を得ていないため、原子炉から出る一定出力の中性子をパルス化して利用することに傾注して来た。しかし加速器の大型化にともない、これを利用した中性子散乱の実験も行われ始めており、今後実験範囲の拡大や実験技術の確立がなされるにつれて増々盛んになるものと思われる。我国においては東北大学の300 MeVリニアック⁻²⁾を利用した渡辺らのグループが物性物理の実験技術の開発に取り組んでおり、今日迄幾多の特色ある実験結果が報告されている。さらに最近ではKENSプロジェクトチームは、高エネルギー研究所の500 MeVプロトン加速を利用した強力パルス中性子源⁻³⁾の計画を推進している。これは 10^{14} / cm², sec, pulse を目指しており、高中性子束を得るパルス中性子源として注目されている。

この様な現状の中で我々は遅ればせながら原研電子リニアックを利用し、加速器によるパルス中性子源の開発とこれを利用した実験を計画した。これらの技術は基本的には確立されており、これからは加速器の長所を生かした研究に着手する時機にきていると思われる。加速器を利用したパルス中性子法の長所としては、

- (ア) パルス中性子とするための損失が少ない。
- (イ) 利用エネルギー範囲が広い。
- (ウ) 減速材の取扱いが容易なため、異なった波長の中性子の強度を操作出来る。
- (エ) 雑音中性子はパルスの出ている時間帯だけであるので、S/N比が良い。

等が考えられる。

我々は原子炉におけるパルス中性子法の技術を生かし、加速器の特長を出させる装置の建設を目指し、特に、ターゲットは円筒形とし、モデレーターはポリエチレン板を使用することにより、各部分を簡便化し、これより発生する中性子のエネルギースペクトラムの操作を容易にさせた。

また、物性研究に使用する試料は高温、低温に保持する場合も多く、単結晶試料の使用も考えられるので高精度のゴニオメーターを設置した。又電子ビームがターゲットに照射されている間にも装置近くに立入り、種々の操作を行えるように、中性子・ γ 線の遮蔽を工夫した。

2. 中性子線源としてのリニアック

電子線型加速器による中性子の発生は、加速された電子を重金属ターゲットに入射させて、電子線の制動放射によって γ 線を発生させ、その γ 線がターゲット内でおこす(γ, n)反応によって

1. 緒 言

我々は1963年にJRR-2原子炉に位相差チョッパーを据付、パルス中性子法による中性子非弾性散乱の実験を開始した。その後このチョッパーによるパルス中性子型中性子分光器は高分解能、低バックグラウンドの分光器の要求を満足させるため、結晶-チョッパー型⁻¹⁾の混合装置 (Hybrid type) として改良されて来た。この装置は現在も我国唯一のチョッパー型中性子分光器として活躍している。我国では今日まで原子炉にまさる中性子源を得ていないため、原子炉から出る一定出力の中性子をパルス化して利用することに傾注して来た。しかし加速器の大型化にともない、これを利用した中性子散乱の実験も行われ始めており、今後実験範囲の拡大や実験技術の確立がなされるにつれて増々盛んになるものと思われる。我国においては東北大学の300 MeVリニアック⁻²⁾を利用した渡辺らのグループが物性物理の実験技術の開発に取り組んでおり、今日迄幾多の特色ある実験結果が報告されている。さらに最近ではKENSプロジェクトチームは、高エネルギー研究所の500 MeVプロトン加速を利用した強力パルス中性子源⁻³⁾の計画を推進している。これは 10^{14} / cm², sec, pulse を目指しており、高中性子束を得るパルス中性子源として注目されている。

このような現状の中で我々は遅ればせながら原研電子リニアックを利用し、加速器によるパルス中性子源の開発とこれを利用した実験を計画した。これらの技術は基本的には確立されており、これからは加速器の長所を生かした研究に着手する時機に來ていると思われる。加速器を利用したパルス中性子法の長所としては、

- (ア) パルス中性子とするための損失が少ない。
- (イ) 利用エネルギー範囲が広い。
- (ウ) 減速材の取扱いが容易なため、異なった波長の中性子の強度を操作出来る。
- (エ) 雑音中性子はパルスの出ている時間帯だけであるので、S/N比が良い。

等が考えられる。

我々は原子炉におけるパルス中性子法の技術を生かし、加速器の特長を出させる装置の建設を目指し、特に、ターゲットは円筒形とし、モデレーターはポリエチレン板を使用することにより、各部分を簡便化し、これより発生する中性子のエネルギースペクトラムの操作を容易にさせた。

また、物性研究に使用する試料は高温、低温に保持する場合も多く、単結晶試料の使用も考えられるので高精度のゴニオメーターを設置した。又電子ビームがターゲットに照射されている間にも装置近くに立入り、種々の操作を行えるように、中性子・ γ 線の遮蔽を工夫した。

2. 中性子線源としてのリニアック

電子線型加速器による中性子の発生は、加速された電子を重金属ターゲットに入射させて、電子線の制動放射によって γ 線を発生させ、その γ 線がターゲット内でおこす(γ, n)反応によって

行われるものである。この場合生じる高速中性子の発生率は、電子エネルギーが30 MeV位までは指数関数的に増加し、それ以上では増加がゆるくなるが、さらに電子エネルギーの高い50～100 MeVでは大体ビーム電力に比例して増加すると考えられている。この報告で述べる装置の利用する原研物理部核物理第2研究室の電子リニアックは最大エネルギー120 MeV、通常使用条件では100 MeVで500 mAの出力をもっている。なお原研電子リニアックについての詳細については文献⁽⁴⁾を参照されたい。

上に述べた原研電子リニアックを使って、どの程度の中性子密度を得ることができるのかを推定してみる。原研リニアックの性能を次の通りとする。

加速電圧	100 MeV
ピーク電流	500 mA
パルス中	2 μ sec
くりかえし	150 rps
平均電流	150 μ A
ピーク出力	50 MW
平均出力	15 KW

電子リニアックの出力電子ビームを重金属ターゲットにあてた時発生する中性子数は、加速電子のエネルギー、ターゲットの種類、型状に依存するが、100 MeV程度の電子ビームの場合、通常次式で推定されている。発生する高速中性子数 N_f は、

$$N_f = 5 \times 10^{15} \times P \text{ (MW)}$$

Pとしてピーク出力をとると

$$N_f = 2.5 \times 10^{17} \text{ n/sec}$$

平均出力で

$$N_{f, av.} = 7.5 \times 10^{13} \text{ n/sec}$$

となる。

この高速中性子が減速材により減速され熱中性子となるのであるが、そこに得られる熱中性子速 N_{th} を推定しよう。球状のターゲットの囲りを半径 r の減速材が包んでいる場合を想定すると N_{th} は次式で近似できる。

$$N_{th} = \frac{N_f \cdot f_g \cdot f_m \cdot (\Delta t_f / \Delta t_{th})}{4 \pi r^2}$$

f_g は高速中性子が減速材に入る割合、 f_m は減速材により熱中性子に減速される割合、 Δt_f は高速中性子のパルス中、 Δt_{th} は熱中性子パルス中である。 $f_g = 0.5$, $f_m = 0.1$, $\Delta t_f = 2 \mu$ sec, $r = 10$ cmとすると、 N_{th} は大体 1×10^{12} n/cm² secとなる。この数字は定常運転炉の原研JRR-2 (10^{14} n/cm² sec)より2桁低く、JRR-3 (10^{13} n/cm² sec)より1桁低い値である。この不利な差は試料の大きさや検出器の数を増やすなどで入射、反射中性子に対する立体角を増やすことなどで、補う工夫が必要である。

3. 装置の概要

電子リニアックを中性子源としたパルス熱中性子による中性子散乱の実験は、物質中の電子配列や、原子の運動状態の研究を目的とする点において、定常出力の原子炉を使う実験と本質において異なるところはない。しかしその特徴としては、(1)利用する熱中性子のエネルギーについての分布、いわゆるマックスウェル分布を減速材の種類と型状を適当に選ぶことにより、操作することができることと、(2)測定法として、中性子のエネルギーによる減速度のちがいを利用した、飛行時間測定法(TOF法)を必ず使わねばならないことである。後者については、定常出力炉を使ってチョッパーでパルス中性子を作って行う実験にも使われる方法でもある。これを考えると、電子リニアックによる熱中性子散乱の特徴は前記(1)にあるといえることができる。

中性子散乱実験で求めるものは物質についての散乱関係 $S(Q, \omega)$ であり、いかえれば、変数 Q, ω について中性子散乱強度を求めることである。変数 Q は運動量変化量であり散乱前後で中性子のエネルギーの変化のない弾性散乱の場合 $Q = (4\pi/\lambda) \sin\theta/2$ であり、ここで λ は中性子波長、 θ は散乱角である。又 ω はエネルギー変化量であり、弾性散乱の場合、 ω はゼロになる量である。電子リニアックによる中性子散乱の特徴が利用する熱中性子のエネルギー分布を適当にえらべるといえることは、 $S(Q, \omega)$ の変数の値のとりうる範囲を広く選ぶことができるということになる。

このような特徴を生かして、これまでに熱中中性子散乱の実験、 Q の広い範囲での粉末、液体、非晶質物質について中性子回折、又更には減速材を低温度にして、エネルギーの広い(波長の長い)中性子による散乱などが報告され、その可能性が実証されて来ているが、この装置では当面、定常炉による結晶型中性子回折では $Q = 10 \text{ \AA}^{-1}$ が限度である測定範囲を $Q = 30 \text{ \AA}^{-1}$ 程度までひろげた中性子回折の測定を目指して計画を立てた。

またモデレーターについても実験条件によって選択出来る構造とした。このためターゲット室への出入に際して、放射線被曝線量を低くするためにターゲット周辺に速中性子の反射もかねた遮蔽体を工夫した。

装置は大きく分けて熱中性子発生部と、散乱中性子の計測部となる。装置の全体の配置は Fig. 1 に示す通りである。

熱中性子発生部のターゲットとしてはタンタル板と鉛板の組合せを採用し、モデレーターとして、水とポリエチレンを採用した。ポリエチレン・モデレーターについてはカドミウム板を中間に挿入することによりパルス中性子の時間巾と熱中性子のエネルギー分布の選択を行った。

ゴニオメーターは単結晶試料の測定も可能とするため、試料テーブルと検出器テーブルの独立回転方式を採用し、回転角精度は $1/50$ 度、読み取りは $1/100$ 度までできるものとした。回転駆動は手動である。ゴニオメーターの回転中心軸は中性子ビームの中心に対して $\pm 2 \text{ mm}$ の誤差で設定された。テーブル上からビーム中心までは 400 mm である。検出器は He-3 ガス封入型 (4 気圧) 直径 2 cm 有効長さ 15 cm のもの 2 本を 1 組とし、2 組用意した各組は、遮蔽ケースに納められ、

検出器用テーブル上に30度間隔で設置が可能である。遮蔽ケース内の遮蔽材は B_4C + 樹脂である。検出器の角度分解能はソーラーコリメーターを遮蔽ケースに挿入することにより30分にすることができる。検出器の計数効率 ϵ は、 1 \AA の中性子に対して約80%である。

コースコリメーターはターゲット側断面 $4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ 、試料側断面 $4 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ で全長 362 cm 、水平発散角1度で設置した。ターゲットから検出器まで、中性子の全飛行距離は、 625 cm である。

ターゲットはコリメーター側と電子ビームの窓を除きすべて 10 cm 厚さの鉛で囲み、ターゲットからの γ 線の遮蔽とした。これは運転停止時ターゲット室への出入を容易にした。又測定室における放射線の線量率は、リニアックが運転中でゴニオメーター中心から 1 m の位置で、 1 mr/hr 以下の γ 線線量率であった。この値はゴニオメーター周囲における作業を容易にした。

検出器で受ける散乱中性子のシグナルの飛行時間法 (TOF) による測定は、東芝製 USC-3 システムで行っている。計算器の内記憶部コアは 64 K であり、その中 8 K に TOF データを蓄積できる。

入力は最大4系統に分割が可能である。これによりチャンネル数は最大 8000 チャンネルまで6種類が選択出来る。1チャンネルの時間巾は最大 $12.8 \mu \text{ sec}$ まで6種類が選択出来る。

この他、安全系統の回路として、ターゲット冷却水温度の測定、警報をリニアックの安全回路と結合した。

また、リニアック運転中における実験条件の変更等、ゴニオメーター周辺の作業を容易にするため鉛シャッターを設置した。

4. ターゲット

ターゲット部全体の構成を Fig. 2 に示す。

4.1 ターゲット材

ターゲット材はタンタル板を使用した。直径 50 mm で厚さが 1 mm 、 2 mm 、 4 mm の3種類のタンタル板と、厚さ 8 mm 、 10 mm の鉛板とで Fig. 3 に示す様な配列で組み立てられている。金属板の間は冷却水の通路である。ターゲット材の選択については使用前後の取扱い易さ、中性子発生効率、耐熱性等を考慮した。

ターゲット物質としては通常重金属が用いられる。重金属は γ 線の発生率が高く、したがって中性子の発生率も高い。またターゲットの形も小さくでき、除熱効果、中性子の伝送効果の点からも利点が多い。重金属として、タンタル、タングステン、白金、鉛、ビスマス、ウラニウム等が考えられ、外国においてはいずれも使用された例がある。これらのうち鉛、ビスマスは融点が低く、白金は高価である。ウラニウムはすぐれたターゲット材であるが、加工の方法に難点がある上、核分裂性同位元素を含むので、残留放射能が強く、事故時の取扱い、使用後の処理など使用しにくい面がある。わが国では使用されていない。タンタル、タングstenは融点も高く、比較的安い。両者

検出器用テーブル上に30度間隔で設置が可能である。遮蔽ケース内の遮蔽材は B_4C + 樹脂である。検出器の角度分解能はソーラーコリメーターを遮蔽ケースに挿入することにより30分にすることができる。検出器の計数効率 ϵ は、 1 \AA の中性子に対して約80%である。

コースコリメーターはターゲット側断面 $4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ 、試料側断面 $4 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ で全長362 cm、水平発散角1度で設置した。ターゲットから検出器まで、中性子の全飛行距離は、625 cmである。

ターゲットはコリメーター側と電子ビームの窓を除きすべて10 cm厚さの鉛で囲み、ターゲットからの γ 線の遮蔽とした。これは運転停止時ターゲット室への出入を容易にした。又測定室における放射線の線量率は、リニアックが運転中でゴニオメーター中心から1 mの位置で、 1 mr/hr 以下の γ 線線量率であった。この値はゴニオメーター周囲における作業を容易にした。

検出器で受ける散乱中性子のシグナルの飛行時間法(TOF)による測定は、東芝製USC-3システムで行っている。計算器の内記憶部コアは64 Kであり、その中8 KにTOFデータを蓄積できる。

入力は最大4系統に分割が可能である。これによりチャンネル数は最大8000チャンネルまで6種類が選択出来る。1チャンネルの時間巾は最大 $12.8 \mu \text{ sec}$ まで6種類が選択出来る。

この他、安全系統の回路として、ターゲット冷却水温度の測定、警報をリニアックの安全回路と結合した。

また、リニアック運転中における実験条件の変更等、ゴニオメーター周辺の作業を容易にするため鉛シャッターを設置した。

4. ターゲット

ターゲット部全体の構成をFig.2に示す。

4.1 ターゲット材

ターゲット材はタンタル板を使用した。直径50 mmで厚さが1 mm, 2 mm, 4 mm. の3種類のタンタル板と、厚さ8 mm, 10 mmの鉛板とでFig.3に示す様な配列で組み立てられている。金属板の間は冷却水の通路である。ターゲット材の選択については使用前後の取扱い易さ、中性子発生効率、耐熱性等を考慮した。

ターゲット物質としては通常重金属が用いられる。重金属は γ 線の発生率が高く、したがって中性子の発生率も高い。またターゲットの形も小さくでき、除熱効果、中性子の伝送効果の点からも利点が多い。重金属として、タンタル、タングステン、白金、鉛、ビスマス、ウラニウム等が考えられ、外国においてはいずれも使用された例がある。これらのうち鉛、ビスマスは融点が低く、白金は高価である。ウラニウムはすぐれたターゲット材であるが、加工の方法に難点がある上、核分裂性同位元素を含むので、残留放射能が強く、事故時の取扱い、使用後の処理など使用しにくい面がある。わが国では使用されていない。タンタル、タングstenは融点も高く、比較的安い。両者

のうちではタンタルが、高放射線下の冷却水に対する耐蝕性に優れているといわれ、原研においてもこれまでに使用されて来ている。

タンタルを材料としたターゲットの形状の決定は、Alsmiller, Moran⁻⁵⁾の計算結果と、原研核物理第2研究室のリニアック・グループの研究結果を参考とした。

Alsmiller等の計算の結果では、内筒型ターゲットの厚さ、直径が大きくなると中性子発生率も増すが、厚さ約30mm、直径約20mmではほぼ飽和に達する。この傾向は、原研リニアック・グループによるターゲット中の電子飛程の観測からも確かめられている。原研リニアック・グループは、これにより直径32mm、長さ32mmのタンタル板積層を採用している。われわれの場合、加速器を出た電子ビームが、5°、45°の二回、マグネットでまげられることも考え、電子ビームの広がりや、ターゲットへの入射位置のふらつきを大きくみて、50mm直径、長さ100mmの積層を採用した。

4.2 ターゲットの熱除去

ターゲットの構成はFig. 2に示すように、電子ビームの入射する方向から見て、1mmタンタル板6枚、2mmタンタル板3枚、4mmタンタル板2枚、8mm鉛板1枚、10mm鉛板2枚の積層構造である。冷却水は最初の7枚までは平行に流れるが、その後は全層板の上下の間隙を通して、順次全層板の間を流れる。ターゲットの熱除去を考える場合、ターゲット内の発熱が主にどの位置で多く見られるかを知る必要がある。ここでは更田らの原研リニアックによるFig. 4に示す実験データを参考とした。実験はタンゲステン・ターゲットによるものであるが、大体10mm以内の厚さで全発熱量の90%近くが熱となっていることを示している。これによりここでは、タンタル板7枚、全体の厚さ12mmで、最大出力24kW(80MeV, 300μA)全部が発熱することを想定した。

冷却水の必要量Fは次式で求められる。

$$F = Q / C_p \cdot \Delta T$$

F : 流量 (g/sec)

Q : 発熱量 (cal/sec)

C_p : 定圧比熱 (cal/g, deg)

ΔT : 入口, 出口での冷却水温度差

$$Q = 5.7 \times 10^3 \text{ cal/sec} (= 27 \text{ KW}) \quad C_p = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{deg} \cdot \Delta T = 10^\circ \text{をとると}$$

$$F = 5.7 \times 10^3 / 1 \times 10 = 5.7 \times 10^2 \text{ g/sec}$$

水の比重を1g/ccとするとF=34.2ℓ/minに相当する。使用するポンプとしては1.9kg/cm²の圧力で100ℓ/minの能力のものを使っており、ターゲットと接続して約1.7kg/cm²の圧力を示しているので100ℓ/min以上の流量を確保している。100MeVで60μA(6KW)の出力時の温度差は実測では約2°Cであった。

この条件でのターゲットの温度上昇はどの位になるか計算してみる。ターゲット内の間隙の最小のところの流速, vは次式で求められる。

$$v = F / d \cdot p$$

$$v = \text{流速} \quad (\text{cm/sec})$$

$$F = \text{流量} \quad (\text{g/sec})$$

$$d = \text{間隙断面積} \quad (\text{cm}^2)$$

$$p = \text{密度} \quad (\text{g/sec})$$

$$F = 5.7 \times 10^2 \text{ g/sec}, \quad d = 0.2 \times 1 = 0.2 \text{ cm}^2, \quad p = 1 \text{ g/sec} \text{ とすると}$$

$$v = 5.7 \times 10^2 / 0.2 \times 1 = 2.85 \times 10^3 \text{ cm/sec}$$

これからレイノルズ数, そしてプラント, ヌッセルト数を計算し, そしてターゲット表面からの熱伝達率を求めてみる。

レイノルズ数 R_e は次式で求める。

$$R_e = P \cdot L \cdot v / \eta$$

$$P : \text{密度} \quad (\text{g/cm}^3)$$

$$L : \text{熱除去の行われる代表的長さ} \quad (\text{cm})$$

$$v : \text{流速} \quad (\text{cm/sec})$$

$$\eta : \text{水の粘性係数}$$

$$P = 1 \text{ g/cm}^3, \quad L = 5 \text{ cm}, \quad v = 2.85 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{sec},$$

$$\eta = 3 \times 10^{-3} \text{ g/cm} \cdot \text{sec} \text{ をとると}$$

$$R_e = 4.75 \times 10^6$$

次にプラント数 P_r は次の通りである。

$$P_r = \eta C_p / \lambda$$

$$\eta : \text{水の粘性係数} \quad (\text{g/cm sec})$$

$$C_p : \text{定圧比熱} \quad (\text{cal/g} \cdot \text{deg})$$

$$\lambda : \text{熱伝導率} \quad (\text{cal/sec, deg} \cdot \text{cm})$$

$$\eta = 3 \times 10^{-3} \text{ g/cm} \cdot \text{sec}, \quad C_p = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{deg}, \quad \lambda = 1.69 \times 10^{-3} \text{ cal/sec, deg} \cdot \text{cm}$$

をとると

$$P_r = 3 \times 10^{-3} \times 1 / 1.69 \times 10^{-3}$$

$$= 1.77$$

ヌッセルト数 N_u は次の式から求める。

$$N_u = 0.023 R_e^{0.8} P_r^{0.4}$$

$$= 0.023 \times (4.75 \times 10^6)^{0.8} \times (1.77)^{0.4}$$

$$= 6.69 \times 10^3$$

この数から熱伝達率 α は

$$\alpha = N_u \cdot \lambda / L$$

$$N_u = 6.69 \times 10^3, \quad \lambda = 1.69 \times 10^{-3} \text{ cal/sec, deg, cm}, \quad L = 5 \text{ cm} \text{ をとると}$$

$$\alpha = 6.69 \times 10^3 \times 1.69 \times 10^{-3} / 5$$

$$= 2.26 \text{ cal/sec, deg, cm}^2$$

この条件で, 冷却水と全発熱量 Q をもつターゲットとの間の温度差は, 次の式で求められる。

$$\Delta T = Q / \alpha \cdot S$$

Sは放熱面積である。Q = 5.7×10^3 cal/sec, $\alpha = 2.26$ cal/sec, deg, cm^2 ,
S = 280 cm^2 をとると

$$\begin{aligned} \Delta T &= 5.7 \times 10^3 / 2.26 \times 280 \times 10^2 \\ &= 9 \text{ deg} \end{aligned}$$

ターゲット温度は冷却水の温度よりせいぜい 10° 程度高くなるだけで、ターゲットの融点よりはるかに低い。

ターゲットの冷却は80ℓの室温水タンクの水を閉回路で循環することで行われる。これは放射化したターゲットの腐蝕などにより冷却水の汚染の拡大を防ぐためである。タンクの水はタンク水槽内の蛇管内を流れる二次冷却水で常温に保持される。冷却系配管図をFig. 5に示す。

4.3 ターゲット遮蔽, および周辺材料

ターゲットの周囲は、モデレーター部分および電子ビームの入口を除き、厚さ10~15 cmの鉛で囲み、放射化したターゲットからの γ 線の遮蔽とした。この遮蔽により、リニアック停止時ターゲット附近での装置の整備作業が容易にできるようになった。

誘導放射能の算出に当っては、ターゲットを構成する材料のうち鉄およびタンタルについてTable. 1のように行った。照射時間は月に10~30時間で断続的であるが、一応10日間連続照射を行ったとし、冷却時間は0.1日、約2時間後にターゲット周辺に立ち入ることを想定した。熱中性子束は前に計算した 10^{12} n/cm².secを採用した。その結果では1.2 Ciの放射性物質が生成される計算となった。

線量評価はFig. 6に示す条件で鉛の遮蔽効果を計算した。この際線源は鉛表面から20 cmのところから10 cm ϕ の円板状線源を想定した。鉛を15 cmとするとA点の線量は

$$\phi = \frac{S_D B C}{2} [E_1(b_1) - E_1(b_1 \sec \theta)]$$

で計算した。

S_D : 円板状線源強度

$$4.4 \times 10^{10} / 5^2 \pi = 5.6 \times 10^8 \text{ photon/sec, cm}^2$$

B : ビルドアップ係数 2.4

C : photon/sec, $\text{cm}^2 \rightarrow \text{m}r/h$ 変換係数 2.4×10^{-3}

b_1 : $\mu_r = 0.79 \times 15 = 11.8$

θ : 14°

$$E_1(b_1) - E_1(b_1 \sec \theta) = 2 \times 10^{-7}$$

$$\phi = 0.3 \text{ m}r/h$$

今までの実測では2時間後で0.2 m r/h 程度を観測している。

ターゲット周囲に使用される材料は遮蔽体及び計器類を除いてステンレスを使用した。これは酸

化及び腐蝕等により、粉末の放射化した放射性物質の飛散を防ぐのが目的である。

ターゲット周囲にはターゲット冷却管、ターゲット架台熱交換器、その他の配管が設置されているが、リレー、配線等やむをえないものを除き表面はくりのない材料を選択した。特に中性子ビームを直接受ける附近はAl, Pb等を使用し、材料の放射化による周辺線量の増加を防いだ。

Table · 1

成 分	Fe	Ta
重 量 (g)	1 4 4 4	6 5 1
標 的 核 種	Fe ⁵⁸	Ta ¹⁸¹
生 成 核 種	Fe ⁵⁹	Ta ¹⁸²
天 然 存 在 比 (%)	0.31	1 0 0
核 種 重 量 (g)	4.48	6 5 1
原 子 数 N	4.6×10^{22}	2.16×10^{22}
放射化断面積 σ (cm ²)	0.9×10^{-24}	2.0×10^{-24}
半 減 期 τ (day)	45.1	1 1 1
$\lambda = 0.693/\tau$ (day ⁻¹)	1.5×10^{-2}	6.2×10^{-3}
$1 - e^{-\lambda t_i}$	0.1	0.01
$e^{-\lambda t_c}$	~1	~1
強 度 (photons/sec)	3.7×10^9	4.0×10^{10}
A (Ci)	0.1	1.1

$$\text{計算式 } A \text{ (Ci)} = \frac{N \sigma \phi}{3.7 \times 10^{10}} (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_c}$$

$$\text{強度 (photon/sec)} = 3.7 \times 10^{10} A \text{ (Ci)}$$

$$\phi = 10^{12} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}, t_i = 10 \text{ days}, t_c = 0.1 \text{ day}$$

$$\text{強度合計 } 4.4 \times 10^{10} \text{ photons/sec}$$

t_i, t_c は各々照射時間及び冷却時間である。

5. モデレーター

ターゲットで発生した速中性子(約 2 MeV をピークとして分布)を熱中性子領域まで減速させるため、水、ポリエチレンモデレーターを使用した。

リニアックで得られる速中性子はパルス状である。これが減速材に入り、熱化されることにより、その強度と、時間巾は大きな変化をうける。その程度はモデレーターの大きさと材質に依存する。強度を得るためにはターゲットからの速中性子をできるかぎり多く集めることができるような幾可学的配置が重要である。ここでは時間巾の増加を小さくすること、取り替えを容易にすることを考慮して、平板のモデレーターを採用した。モデレーターはターゲットにできるかぎり近くに設置できるようにした。

モデレーターの断面は 17 cm × 18 cm である。ターゲット外壁より数 cm の位置に固定できる構造とした。

このモデレーターの断面はターゲット中心部から球状に放射される速中性子の内約 1/4 を取り入れる大きさである。最近モデレーターの周囲を Be 等の反射材で囲むことにより速中性子の取り込み量を増加させる可能性が論議されているが、将来の改良点として残されている。

5.1 水の場合

外型寸法 17 cm × 18 cm, 厚さ 4 cm の Al 製のタンク内に蒸留水を入れたものを使用した。水層上部には補助タンクを取り付けた。これは水の膨張等により水位変化が生じた時の水の漏えい防止と補給のためである。

水モデレーターの温度上昇はリニアック出力が 100 MeV 28 μ A (平均) 150 PPS で 1 時間稼動した時、室温より 30°C 上昇して一定となった。

Fig. 7 は、水モデレーターからの中性子スペクトルを直接観測した結果である。リニアック出力は 100 MeV, 200 mA (ピーク電流) 50 PPS, TOF 測定条件は、チャンネル巾 40 μ sec, 飛行距離 1010 cm スリットの大きさ 0.1 cm × 10 cm である。

この条件での水モデレーターによる中性子回折の測定結果を次に示す。

Fig. 8 は Ni 粉末の中性子回折図形である。

リニアックの運転条件は、100 MeV, 200 mA (ピーク値)

パルス繰り返し及び時間巾 25 PPS, 2 μ sec

TOF 測定条はチャンネル巾 20 μ sec, 256 ch

飛行距離, 620 cm, 散乱角, 84° である。

この結果面指数, 422 まで確認できた。また、分解能については、222 と 311 がわずかにピーク付近で分離している程度である。各エネルギーの中性子の時間的広がりを求めるため Cu 単結晶を使用した測定を行った。Fig. 9 は Cu 単結晶の 111 面反射を利用し、検出器角 84° であ

る。データーの直接の読み取りから 1 \AA 附近の波長で約 $64 \mu \text{ sec}$ の広がりをもっており、また長波長側（低エネルギー側）に尾を引いている。これらはモデレーターの厚さ、材質によるものが主な要素であるが、その他結晶、ビーム、検出器の幾何学的配置によって生ずる飛行距離の不確定要素から起因する項も重畳している。

以上の結果は装置としては固定的なものではなく、仮の装置で行ったものであるが、その経験をもとに、コリメーター、ゴニオメーターの設計を行った。コリメーターは一体として、中性子ビームを散乱させる部分は、コンクリートの生体遮蔽内につくり、中性子ビームはターゲット中心から上部に 25 mm ずらして設計した。これにより r 線と熱中性子線との比率を一層改善することができ、又ゴニオメーター周囲の r 線量率を約 $1/10$ にすることができた。

Fig. 10 に装置改造後の Ni 板による中性子回折の結果を示す。装置の改良後コリメーター系の改善、検出器バンクが、ゴニオメーターの設置により 150° まで設定可能となり、低バックグラウンド化と分解能の改善がなされた。またこの測定から東芝製計算器を飛行分析用として使用した。

実験条件は、 100 MeV 、 200 mA 、 150 PPS

チャンネル巾 $6.4 \mu \text{ sec}$ 、散乱角 150 度

である。

このデーターでは、 660 、 822 までの面指数の検出が行われた。また分解能については、 531 、 660 が分別できる程度になった。

5.2 ポリエチレンの場合

外径寸法 $17 \text{ cm} \times 1.8 \text{ cm}$ で厚さは 0.5 cm と、 1 cm の2種類を用意した。この板状ポリエチレンを使用することにより、モデレーターの毒物効果を試みた。

モデレーターの構成は

(ア) P.E 4 cm の厚さ。

(イ) P.E 2 cm 、Cd 0.05 cm 、P.E 2 cm

(ウ) P.E 2 cm 、Cd 0.05 cm 、P.E 0.9 cm

の三種類とした。 4 cm 、 2 cm 、 2 cm はターゲット側の厚さである。

このモデレーターから放射される熱中性子のスペクトラムを測定するため、試料として Ni 多結晶 ($8 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} \times 0.8 \text{ cm}$)、LiF 単結晶 ($10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$) を使用した。

リアックの運転条件は繰り返し 150 PPS 、パルス巾 $0.8 \mu \text{ sec}$ 、である。

測定条件は飛行距離 6.33 m 、検出器角 150 度、時間分析のチャンネル巾 $6.4 \mu \text{ sec}$ である。

測定データーは Fig.10 ~ Fig.14 に示す。

これらのデーターを直読し、次の値を得た。

(1) 測定可能なエネルギー範囲は $0.4 \text{ \AA} \sim 4 \text{ \AA}$ である。

(2) 時間分解能 $\Delta t/t$

Δt として回折線のピークの半値巾を測定した。 t はピークの位置の時間である。

LiF単結晶の中性子回折のデーターからモデレーター条件

(ア) の時 $\Delta t/t$ は 10×10^{-3} ,(イ) の時 $\Delta t/t$ は 6×10^{-3} ,(ウ) の時 $\Delta t/t$ は 5×10^{-3} ,

である。(ウ) の測定では時間分析器のチャンネル巾 $6.4 \mu\text{sec}$ が広すぎたため高エネルギー側で誤差を生じた。回折線の強度についてはモニター検出器の不備で、定量的評価が出来なかった。リアック出力をもとに概算すると、200反射で

(イ) / (ア) は 0.48

(ウ) / (ア) は 0.23

800反射で (イ) / (ア) は 0.14

(ウ) / (ア) は 0.06

の値を得た。またNi多結晶の中性子回折のデーターから、531反射と600反射の回折線の分離は(ア)の条件に比べ(ウ)の条件が良く、この時の $\Delta t/t$ は 1×10^{-2} であった。これは検出器の前方に設置されたコリメーター系の角度分解能に依存することにより悪化したものである。これら回折線から面間隔の値として、531面は 0.5956 \AA , 600面は 0.5873 \AA を得た。これは 1.1 \AA 附近のエネルギーを回折させて得た値であり、このエネルギー附近では約 10^{-2} \AA の差を分離することが可能である。この値は試料の状態(ひずみ、粒度等)によって変化するが、標準値として使用出来る。

またこの実験では高エネルギー側で 0.4 \AA まで観測された。

これらの実験を通してポリエチレンモデレーターの取扱い易さを経験した。また使用したポリエチレンは着色しているが、現在までのところ熱中性子強度への影響はない。今回の3種類の条件におけるモデレーターでは(ウ)の条件が良い分解能を示した。測定条件として、時間分析器のチャンネル巾 $6.4 \mu\text{sec}$ は広すぎた。実験によっては $1 \mu\text{sec}$ 程度の時間巾も必要である。

熱中性子強度は満足行く結果ではない、水モデレーターの結果に比べて1桁近く低い値は分解能向上だけを考慮しても満足出来るものではなかった。

5.3 モデレーターの選択

モデレーターの性能についてはいろいろな材料、型について実験が行われ、すでに詳細な報告がなされている。ポリエチレン、固体アンモニア、固体メタンについての実験結果の報告はGraham等⁻⁸⁾により行われており、又ポリエチレン、水については渡辺等⁻⁹⁾により報告されている。

Fluharty等⁻¹⁰⁾は水、ポリエチレン、ルサイト、ジルコニウム水素化合物、アンモニアについて温度の効果や、中性子吸収材の効果などの詳しい実験結果を報告している。Day等⁻¹¹⁾は型の効果について詳しく報告しておりMichandon⁻¹²⁾による理論的研究報告もある。

我々のポリエチレンモデレーターの実験結果もこれまでの報告の内容を大きく変えるものではなく、Fluharty等が指摘した通り、Cdを挿入したポリエチレンモデレーターは性能、取扱い易さの点で優れていることが立証された。

ポリエチレンモデレーターを使用する場合、ポリエチレン板とCd板を組合せることにより、特

性の異なるモデレーターを作ることが容易に出来るので、実験条件によってモデレーターの選択が可能である。

高分解能を要求する実験には9 mm+Cd板+20 mmの組合せが良い。また熱中性子の強度を分解能を犠牲にしても欲しい場合にはポリエチレン40 mmの厚さが最適である。

我々は現在、前項に述べたポリエチレン板の組合せを3種類用意した。

これらのモデレーターのうち結晶構造解析等の実験において回折図形の profile fitting を行う場合には (ウ) の組合せが良く、試料が少量で回折線の位置だけを問題にする場合には (ア) の組合せが良い、(イ) の組合せはこれら中間を問題にする場合に良い結果を示すと思われる。しかし特性実験の解析から (イ) と (ウ) の差はそれ程大きくなく、(イ) の組合せも Profile fitting の仕事に充分役に立つことを立証した。

試料側のモデレーターの厚さは熱中性子強度に大きく影響するので、分解能と強度の要求を同時に満足させることは困難であるが、最適条件を選ぶことは可能である。

6. 結 論

この報告書は初期実験結果から装置の長時間使用による安定性とパルス熱中性子の特性から中性子散乱実験がどの程度可能であるかを予測することを目的とした。

我々はすでに原子炉を使用し、パルス中性子技術を確立している。リニアックを使用したパルス中性子法では別の特色ある研究を目指さねばならない。

先ず中性子源となるターゲット及びモデレーター系は長時間安定に使用出来る実績を作ることが必要であった。今回の初期実験の経験から、ターゲット及びその冷却系とモデレーターについて30時間の連続運転を含めて、延べ200時間の運転実績を作り上げた。この間、ターゲット及びその冷却系は正常に働き1回の故障もなく満足いく結果を得た。水モデレーターについては大きな問題点はないが、毒物効果によるモデレーターの特性変更には簡便さがなく試験するに至らなかった。ポリエチレンモデレーターについては取扱い易さから数種類の厚さのものを作り試験した。しかしポリエチレンの放射線損傷は数十時間で着色が観察され、熱中性子強度にどの程度影響を与えるかは今後の問題として残された。

このポリエチレンモデレーターの取扱いの簡便さは、モデレーター周辺に立入る回数を増す結果になったが、ターゲット遮蔽体の効果が大きく、その周辺漏えい放射線量を低くすることに成功したため、被曝線量は許容値以下であった。

検出器は高分解能の要求から2本(1 in dia)を1組として使用したが満足行く散乱中性子の強度を得るに至らなかった。これには focusing type の組合せによる検出器シールドを組立中であり、現在より高い強度を得ることが出来ると思われる。これら改造が終了した段階でも現在のリニアックの熱中性子束は満足行くものではなく、より高中性子束の要求が出るものと思われる。

現在の中性子束では熱中性子による非弾性散乱の実験は困難である。よって弾性散乱の研究に特長が現わせるであろう。この種の研究には相変態、結晶構造解析、小角散乱実験等が考えられる。

性の異なるモデレーターを作ることが容易に出来るので、実験条件によってモデレーターの選択が可能である。

高分解能を要求する実験には9 mm+Cd板+20 mmの組合せが良い。また熱中性子の強度を分解能を犠牲にしても欲しい場合にはポリエチレン40 mmの厚さが最適である。

我々は現在、前項に述べたポリエチレン板の組合せを3種類用意した。

これらのモデレーターのうち結晶構造解析等の実験において回折図形の profile fitting を行う場合には (ウ) の組合せが良く、試料が少量で回折線の位置だけを問題にする場合には (ア) の組合せが良い、(イ) の組合せはこれら中間を問題にする場合に良い結果を示すと思われる。しかし特性実験の解析から (イ) と (ウ) の差はそれ程大きくなく、(イ) の組合せも Profile fitting の仕事に充分役に立つことを立証した。

試料側のモデレーターの厚さは熱中性子強度に大きく影響するので、分解能と強度の要求を同時に満足させることは困難であるが、最適条件を選ぶことは可能である。

6. 結 論

この報告書は初期実験結果から装置の長時間使用による安定性とパルス熱中性子の特性から中性子散乱実験がどの程度可能であるかを予測することを目的とした。

我々はすでに原子炉を使用し、パルス中性子技術を確立している。リニアックを使用したパルス中性子法では別の特色ある研究を目指さねばならない。

先ず中性子源となるターゲット及びモデレーター系は長時間安定に使用出来る実績を作ることが必要であった。今回の初期実験の経験から、ターゲット及びその冷却系とモデレーターについて30時間の連続運転を含めて、延べ200時間の運転実績を作り上げた。この間、ターゲット及びその冷却系は正常に動き1回の故障もなく満足いく結果を得た。水モデレーターについては大きな問題点はないが、毒物効果によるモデレーターの特性変更には簡便さがなく試験するに至らなかった。ポリエチレンモデレーターについては取扱い易さから数種類の厚さのものを作り試験した。しかしポリエチレンの放射線損傷は数十時間で着色が観察され、熱中性子強度にどの程度影響を与えるかは今後の問題として残された。

このポリエチレンモデレーターの取扱いの簡便さは、モデレーター周辺に立入る回数を増す結果になったが、ターゲット遮蔽体の効果が大きく、その周辺漏えい放射線量を低くすることに成功したため、被曝線量は許容値以下であった。

検出器は高分解能の要求から2本(1 in dia)を1組として使用したが満足行く散乱中性子の強度を得るに至らなかった。これには focusing type の組合せによる検出器シールドを組立中であり、現在より高い強度を得ることが出来ると思われる。これら改造が終了した段階でも現在のリニアックの熱中性子束は満足行くものではなく、より高中性子束の要求が出るものと思われる。

現在の中性子束では熱中性子による非弾性散乱の実験は困難である。よって弾性散乱の研究に特長が現わせるであろう。この種の研究には相変態、結晶構造解析、小角散乱実験等が考えられる。

現在 Ni 多結晶を試料とし回折図形を得て、このデータの Profile fitting の解析コードも準備中であり完成すれば新しい研究分野が開けると思われる。

謝 辞

3年前にリニアックに中性子ターゲットを設置したのであるが、原子炉における実験技術と多少異なる要素があり、いろいろ予想しない問題にもぶつかっていたのであるが、核物理第2研究室の方々の協力により比較的早く問題が解決できた。

ターゲットをはじめ装置の設計、リニアック運転、計算機について等、実験を行う上で、助言、協力をいただいた核物理第2研究室の皆様に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 石川義和, 渡辺 昇, 日本物理学会誌 Butsuri **28**, 461. (1973)
- 2) 新村信雄, 日本結晶学会誌 **16**, 355 (1974)
- 3) 文部省科学研究総合B班 「プロトン加速器による中性子散乱」 (1975)
- 4) 竹腰秀邦, 「Linac の設計, 製作と運転」 JAERI-1238, (1975)
- 5) Alsmiller R.G. Moran H.S. Nucl. Inst. Meth. **48**, 109, (1967)
- 6) 更田豊治郎, 私信
- 7) Rockwell T. Reactor Shielding Design Manual. D. van Nostrand Comp. Inc. (1956)
- 8) Graham. K.F.; and Carpenter J.M. Nucl. Sci. Eng. **49**, 418 (1972)
- 9) 渡辺 昇, 木村一治, 高橋文信, 山田幸男, 富吉昇一, 小山田正幸, ;
東北大学核理研 研究報告 **3**, 85 (1970)
- 10) Fluharty R.G. Simpson F.B. Russell G.J. and Menzel J.H.: Nucl. Sci. Eng. **35**, 45 (1969)
- 11) Day D.H. and Sinclar R.N.; Nucl. Inst. Meth. **72**, 237 (1969)
- 12) Michaudon A. Reactor Sci. Tech. **17**, 165 (1963)

現在 Ni 多結晶を試料とし回折図形を得て、このデータの Profile fitting の解析コードも準備中であり完成すれば新しい研究分野が開けると思われる。

謝 辞

3年前にリニアックに中性子ターゲットを設置したのであるが、原子炉における実験技術と多少異なる要素があり、いろいろ予想しない問題にもぶつかっていたのであるが、核物理第2研究室の方々の協力により比較的早く問題が解決できた。

ターゲットをはじめ装置の設計、リニアック運転、計算機について等、実験を行う上で、助言、協力をいただいた核物理第2研究室の皆様深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 石川義和, 渡辺 昇, 日本物理学会誌 Butsuri **28**, 461. (1973)
- 2) 新村信雄, 日本結晶学会誌 **16**, 355 (1974)
- 3) 文部省科学研究総合B班 「プロトン加速器による中性子散乱」 (1975)
- 4) 竹腰秀邦, 「Linac の設計, 製作と運転」 JAERI-1238, (1975)
- 5) Alsmiller R.G. Moran H.S. Nucl. Inst. Meth. **48**, 109, (1967)
- 6) 更田豊治郎, 私信
- 7) Rockwell T. Reactor Shielding Design Manual. D. van Nostrand Comp. Inc. (1956)
- 8) Graham. K.F.; and Carpenter J.M. Nucl. Sci. Eng. **49**, 418 (1972)
- 9) 渡辺 昇, 木村一治, 高橋文信, 山田幸男, 富吉昇一, 小山田正幸, ;
東北大学核理研 研究報告 **3**, 85 (1970)
- 10) Fluharty R.G. Simpson F.B. Russell G.J. and Menzel J.H.: Nucl. Sci. Eng. **35**, 45 (1969)
- 11) Day D.H. and Sinclar R.N.; Nucl. Inst. Meth. **72**, 237 (1969)
- 12) Michaudon A. Reactor Sci. Tech. **17**, 165 (1963)

現在 Ni 多結晶を試料とし回折図形を得て、このデータの Profile fitting の解析コードも準備中であり完成すれば新しい研究分野が開けると思われる。

謝 辞

3年前にリニアックに中性子ターゲットを設置したのであるが、原子炉における実験技術と多少異なる要素があり、いろいろ予想しない問題にもぶつかっていたのであるが、核物理第2研究室の方々の協力により比較的早く問題が解決できた。

ターゲットをはじめ装置の設計、リニアック運転、計算機について等、実験を行う上で、助言、協力をいただいた核物理第2研究室の皆様へ深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 石川義和, 渡辺 昇, 日本物理学会誌 Butsuri **28**, 461. (1973)
- 2) 新村信雄, 日本結晶学会誌 **16**, 355 (1974)
- 3) 文部省科学研究総合B班 「プロトン加速器による中性子散乱」 (1975)
- 4) 竹腰秀邦, 「Linac の設計, 製作と運転」 JAERI-1238, (1975)
- 5) Alsmiller R.G. Moran H.S. Nucl. Inst. Meth. **48**, 109, (1967)
- 6) 更田豊治郎, 私信
- 7) Rockwell T. Reactor Shielding Design Manual. D. van Nostrand Comp. Inc. (1956)
- 8) Graham. K.F.; and Carpenter J.M. Nucl. Sci. Eng. **49**, 418 (1972)
- 9) 渡辺 昇, 木村一治, 高橋文信, 山田幸男, 富吉昇一, 小山田正幸, ;
東北大学核理研 研究報告 **3**, 85 (1970)
- 10) Fluharty R.G. Simpson F.B. Russell G.J. and Menzel J.H.: Nucl. Sci. Eng. **35**, 45 (1969)
- 11) Day D.H. and Sinclar R.N.; Nucl. Inst. Meth. **72**, 237 (1969)
- 12) Michaudon A. Reactor Sci. Tech. **17**, 165 (1963)

Appendix : 装置各部の仕様

A-1 ターゲット

(1) 材 料	タンタル板	1 mm	6 枚
		2 mm	3 枚
		4 mm	2 枚
	鉛 板	8 mm	1 枚
		10 mm	2 枚
(2) ケース材料	ステンレス		SUS-304
	窓の厚さ		1.0 mm
	初段の水の厚さ		1.0 mm

A-2 熱交換器

(1) ポンプ名	ステンレス製自吸タービンポンプ	
	型式 GSS-405-COT (川本製)	
	口 径	40 mm ϕ
	吐出量	140 l/mine
	全揚程	16.2 m
	温度検出	サーミスター -10°C~+10°C
(2) 熱交換タンク	タンク本体	コイル側
	内容積	9.33 7.5
	使用温度	60°C 室温
	使用圧力	常 圧 水道圧
	試験圧力	水 張 4 kg/cm ² 水
	伝熱面積	18.8 m ²
	材 質	ステンレス 銅

A-3 鉛シャッター

開閉速度	20 cm/分
鉛厚さ	20 cm
ビーム断面	6 cm \times 6 cm
表 面	カドミ板張
駆 動	リバーサブルモーターによる水平駆動・自動

A-4 コリメーターシールド

材 質	コンクリート、鉄
-----	----------

全 長	368 cm	2分割
試料側	ストレートスリット	4 cm×3 cm
	長さ	100 cm
ターゲット側	テーパースリット	
全 長	268 cm	スリット断面 4 cm×4 cm 4 cm×2.5 cm

A-5 ゴニオメーター

- (1) 試料テーブル 直径50 cm, 耐荷重400 kg, 回転範囲360度, 精度9/10度
読み取り精度, 1/100度, ビームセンターまで40 cm
- (2) 検出器テーブル 直径120 cm, 耐荷重400 kg, 回転範囲360度, 精度1/10度
テーブル面は試料テーブル面と一致している。

A-6 検出器シールド

遮蔽材はエピクロン樹脂 + B₄Cをケース内で固化させた。

検出器2本(1 in 直径, 15 cm長さ)のもと, コリメーターを内蔵出来る構造とした。

コリメーターは断面15 cm×5 cm, 長さ50 cmである。断面の水平方向は5 mm 間隔でカドミメッキした0.4 mm厚さの鋼板でしきられている。

水平方向の角度分解能は, 最小で30分, 最高で5度までステップ状に選択出来る構造とした。このシールドは2組備えており検出器テーブル上に30度毎に固定出来る。

A-7 検出器

He-3ガス封入型, ガス圧 4気圧

直径 1インチ 有効長 6インチ

Reuter-Stokes 製 RS-P4-0806-10

A-8 TOFユニット ^Sπ

核物理第2研究室のリニャックと実験用のTOFユニットを利用しているが, その概要は次のとおりである。

- (1) チャンネル巾; 25, 50, 100, 200, 400, 1600, 3200, 6400 (nsec)
- (2) チャンネル数; 最大65535
- (3) ディレイ時間; 0~65535×チャンネル巾
- (4) チャンネル数と巾の選択; 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16384, 32768.
チャンネルごとにチャンネル巾が倍ずつになるモードと, チャンネル数, 巾と6倍になるモードがある。
- (5) 検出器チャンネル; 最大8コの検出器からの信号を分析できる。
- (6) 4コのbuffer registerがある。

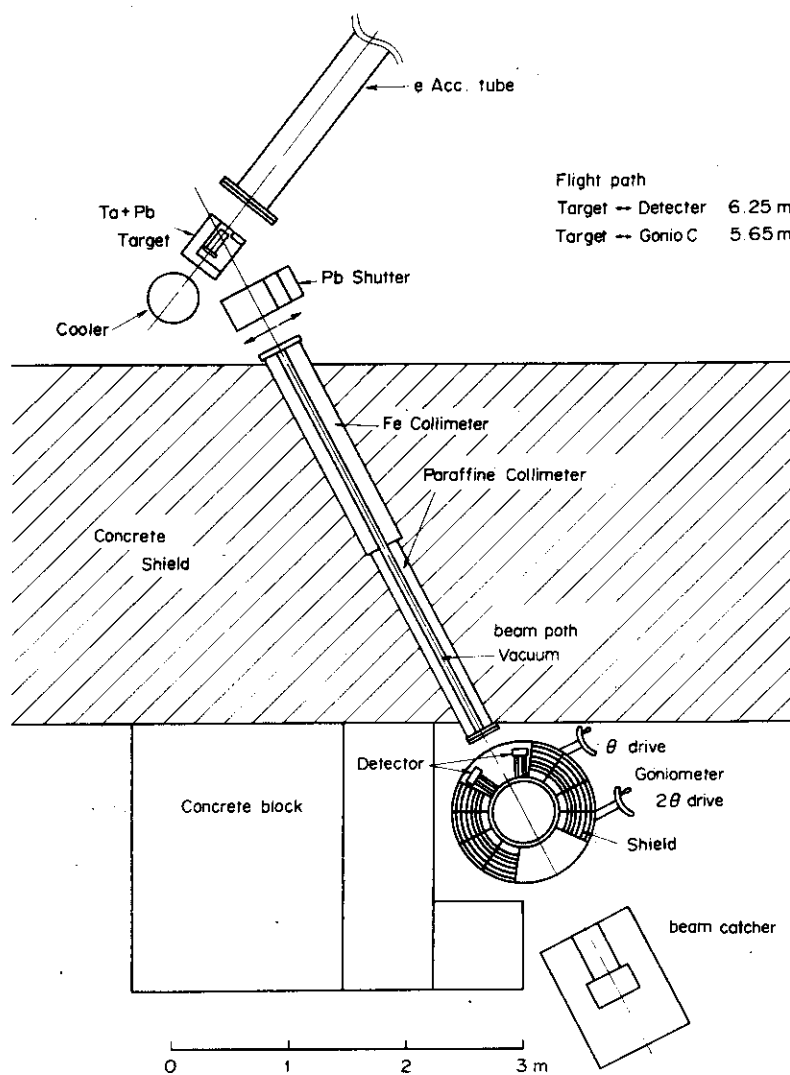
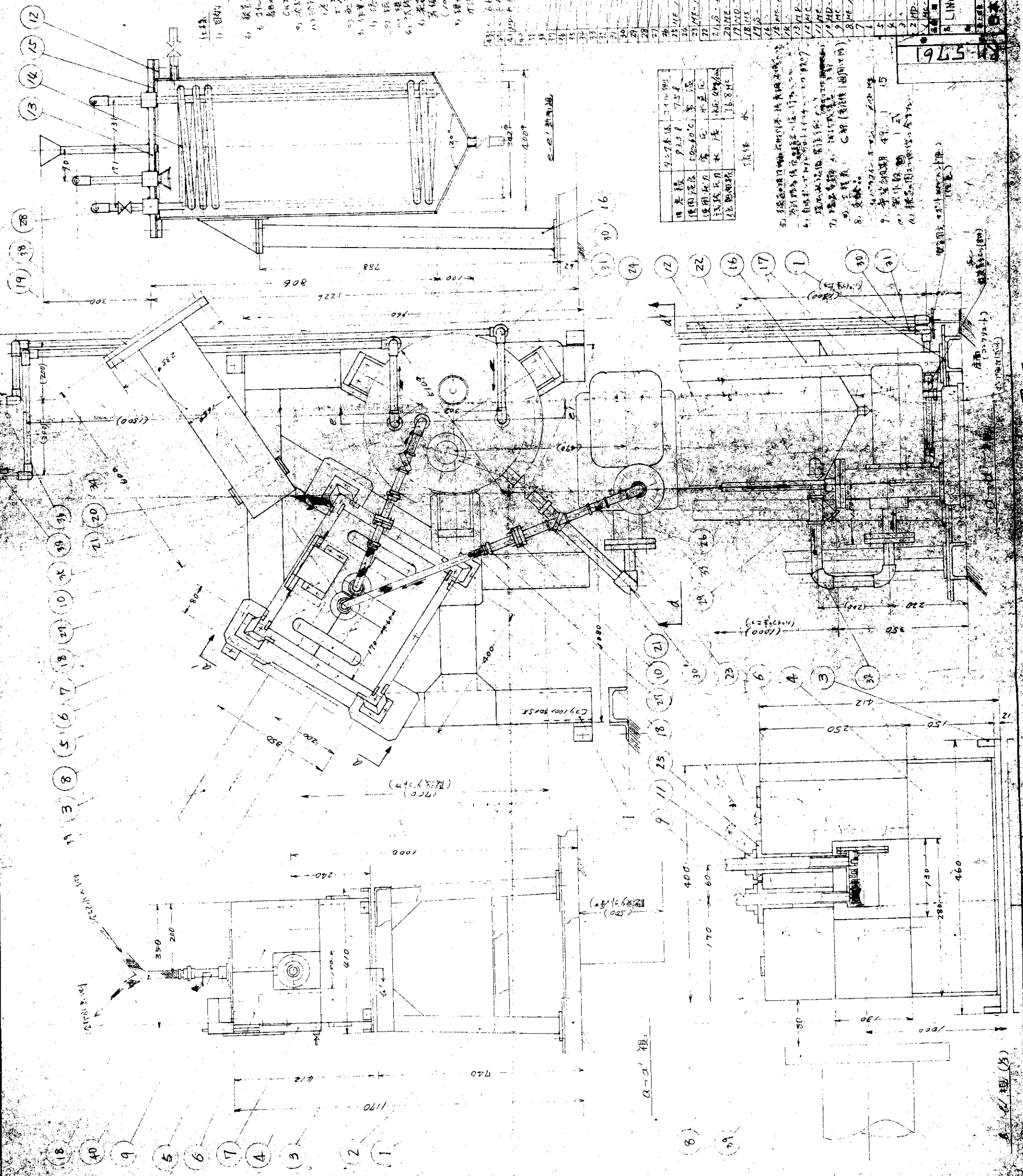


Fig. 1 リニアックと装置の配置図

- Fig. 2 ターゲット及びその冷却系の配置図 (P. 17~18)
 配管材, タンク材は全てステンレスを使用した。しゃへい材,
 コリメーターはPb, 及びAl材である。
 循環ポンプはステンレス製自吸ポンプである。
- Fig. 3 ターゲット組立図 (P. 19~20)
 電子ビームは図の左方から入射し, 1mmのステンレス層と0.5
 mmの水の層を経てタンタル板に衝突する。
 タンタル板は初段から11枚 20mmの厚さ鉛板は後段3枚 28
 mmの厚さである。

Fig. 2

1. 目的 本機は水中の浮力測定に用いられ、測定は電線による。以下にその構造と各部の寸法を示す。
2. 構造 本機は水中に沈め、浮力測定を行う。測定は電線による。以下にその構造と各部の寸法を示す。
3. 各部の寸法 各部の寸法は以下の通りである。
4. 材料 各部の材料は以下の通りである。
5. 製作 本機は以下の通り製作される。
6. 使用 本機は以下の通り使用される。
7. 保管 本機は以下の通り保管される。
8. 修理 本機は以下の通り修理される。
9. 検査 本機は以下の通り検査される。
10. 輸送 本機は以下の通り輸送される。
11. 廃棄 本機は以下の通り廃棄される。
12. その他 本機に関するその他の事項。



1	9.27木塊	3.0mm
2	9.27木塊	7.5mm
3	使用地区	50-60°C
4	使用地区	水
5	使用地区	水
6	使用地区	水
7	使用地区	水
8	使用地区	水
9	使用地区	水
10	使用地区	水
11	使用地区	水
12	使用地区	水
13	使用地区	水
14	使用地区	水
15	使用地区	水
16	使用地区	水
17	使用地区	水
18	使用地区	水
19	使用地区	水
20	使用地区	水
21	使用地区	水
22	使用地区	水
23	使用地区	水
24	使用地区	水
25	使用地区	水
26	使用地区	水
27	使用地区	水
28	使用地区	水
29	使用地区	水
30	使用地区	水
31	使用地区	水

5. 検査 本機は以下の通り検査される。

6. 修理 本機は以下の通り修理される。

7. 保管 本機は以下の通り保管される。

8. 輸送 本機は以下の通り輸送される。

9. 廃棄 本機は以下の通り廃棄される。

10. その他 本機に関するその他の事項。

1	6670	鋼板	1.5
2	6671	鋼板	1.5
3	6672	鋼板	1.5
4	6673	鋼板	1.5
5	6674	鋼板	1.5
6	6675	鋼板	1.5
7	6676	鋼板	1.5
8	6677	鋼板	1.5
9	6678	鋼板	1.5
10	6679	鋼板	1.5
11	6680	鋼板	1.5
12	6681	鋼板	1.5
13	6682	鋼板	1.5
14	6683	鋼板	1.5
15	6684	鋼板	1.5
16	6685	鋼板	1.5
17	6686	鋼板	1.5
18	6687	鋼板	1.5
19	6688	鋼板	1.5
20	6689	鋼板	1.5
21	6690	鋼板	1.5
22	6691	鋼板	1.5
23	6692	鋼板	1.5
24	6693	鋼板	1.5
25	6694	鋼板	1.5
26	6695	鋼板	1.5
27	6696	鋼板	1.5
28	6697	鋼板	1.5
29	6698	鋼板	1.5
30	6699	鋼板	1.5
31	6700	鋼板	1.5

1975 5761

LINAC 部
中子線発生装置

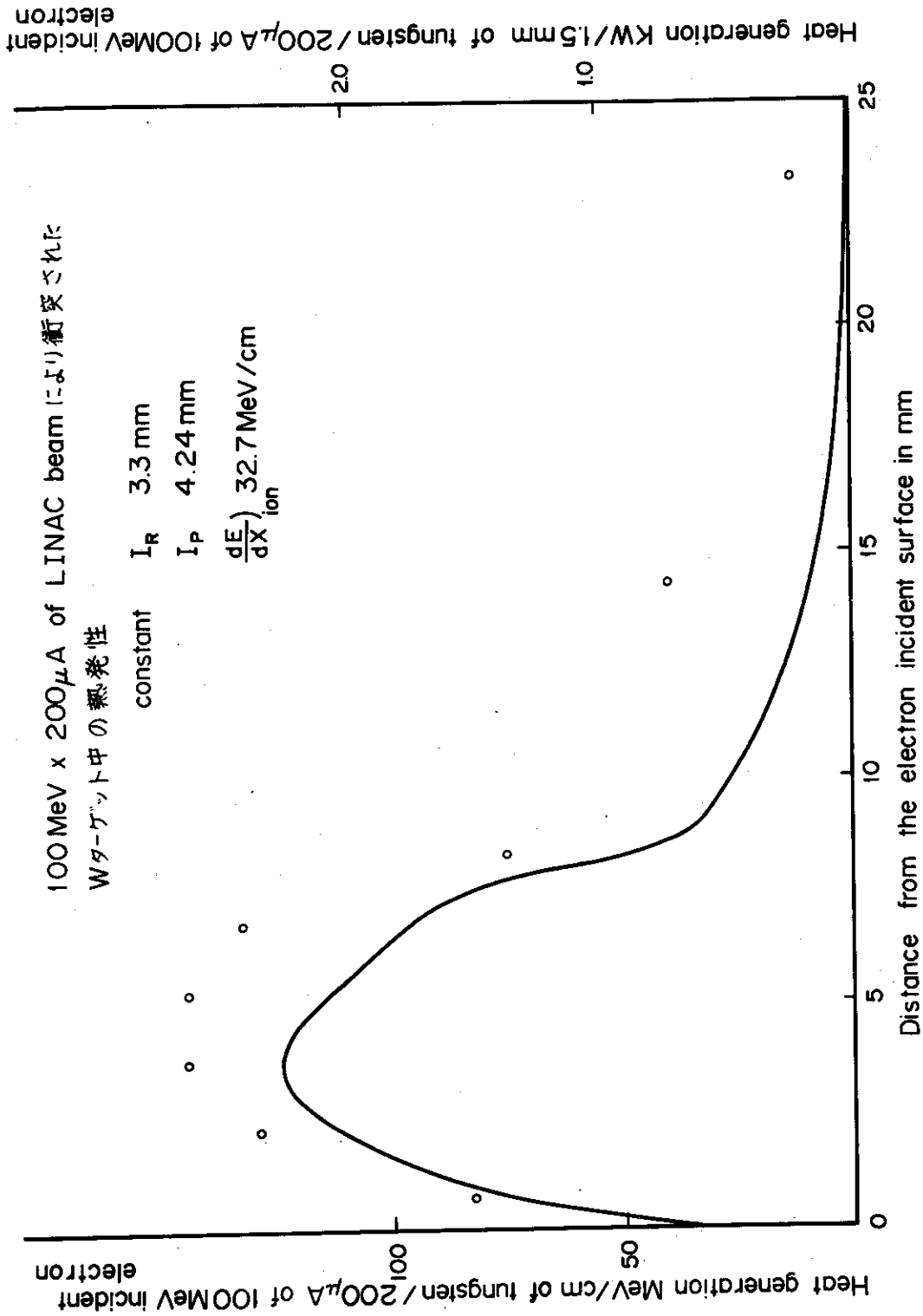


Fig. 4 ターゲット中における発熱と位置の関係

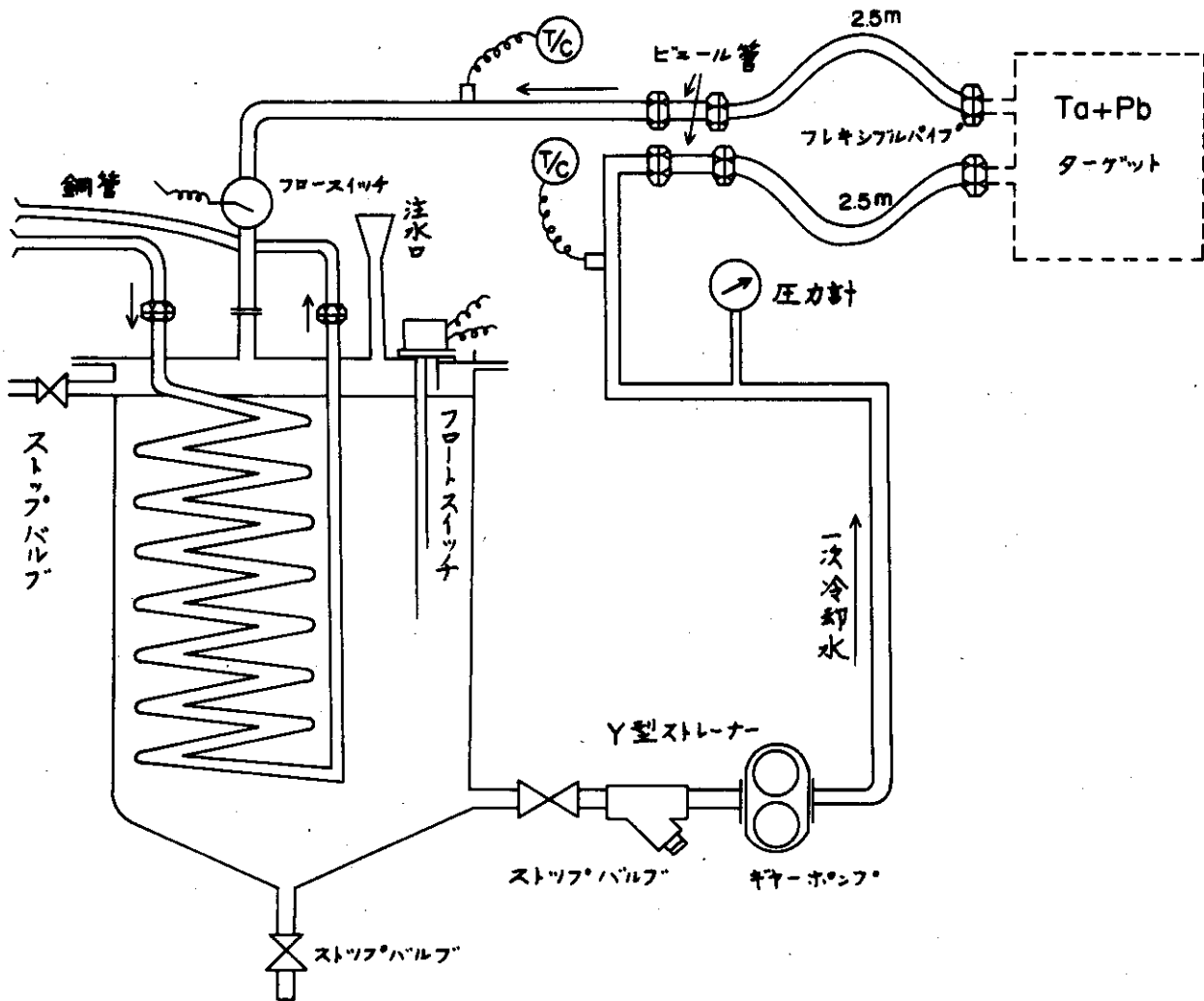


Fig. 5 冷却系配管図

一次冷却水の通路はステンレス材を使用し、冷却水は内容積
 93.3ℓタンクに入り閉回路で循環する。
 二次冷却水は銅製のコイル状管を循環する。内容積は7.5ℓで
 ある。

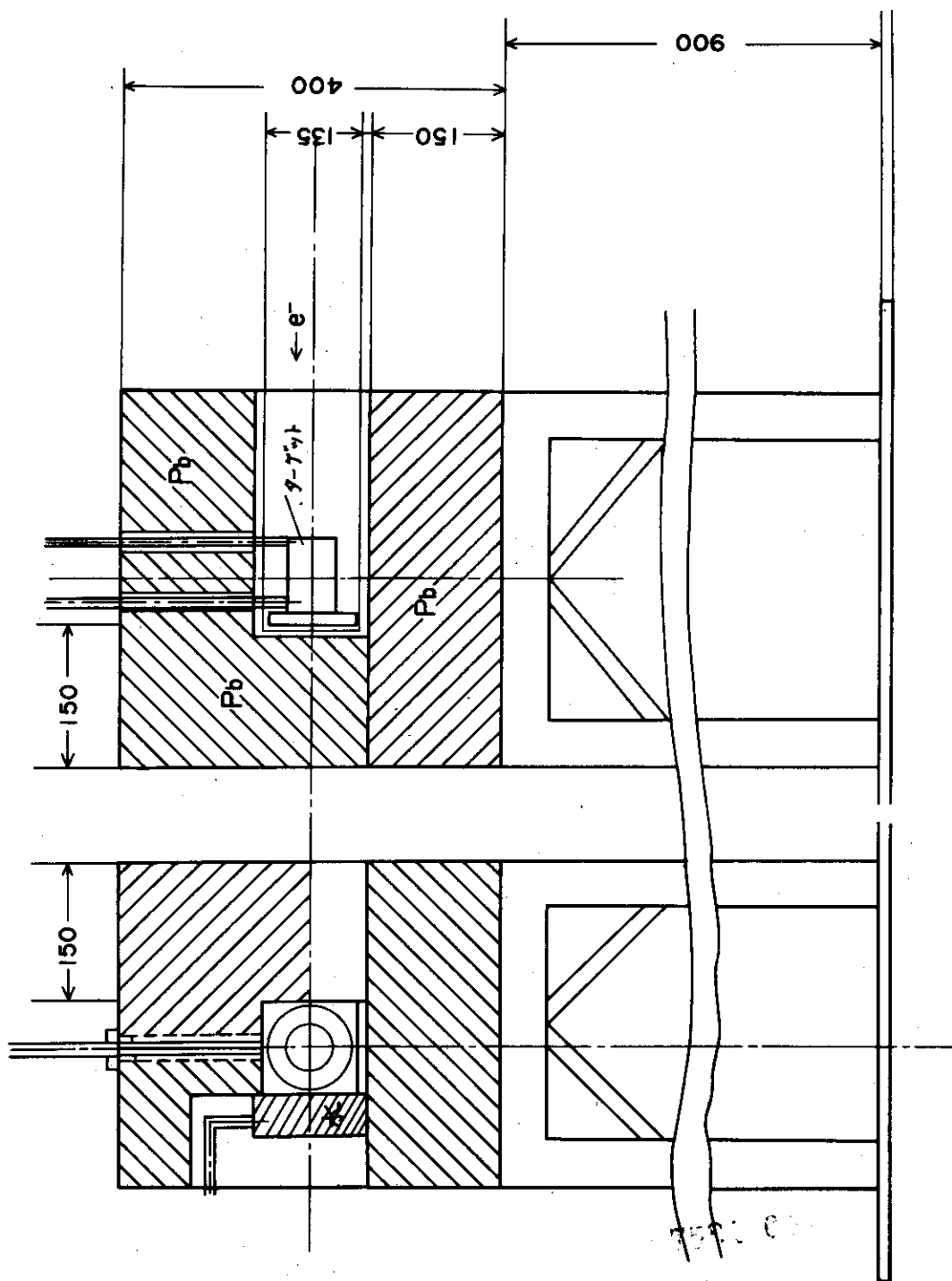


Fig. 6 ターゲット周辺の鉛しゃへい体

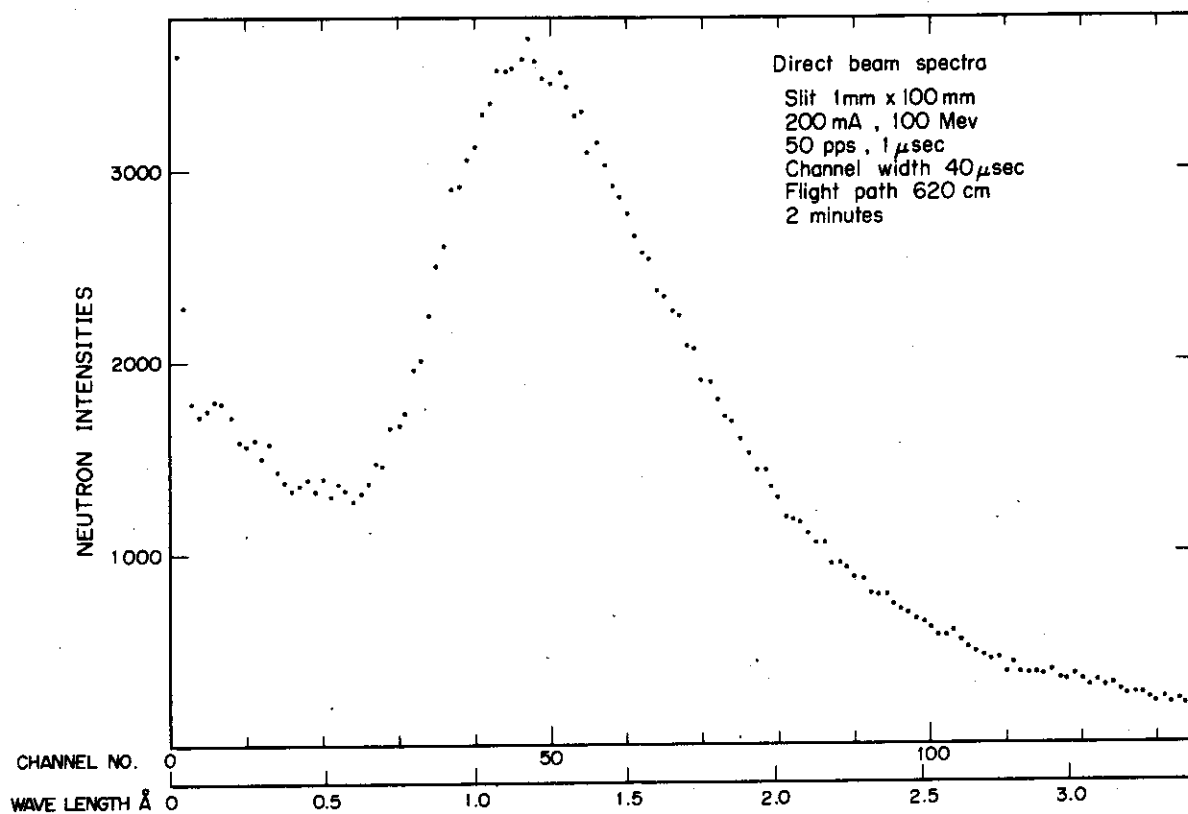


Fig. 7 Direct beam Spectra

リニアック出力: 100 MeV 200mA-(P)

50PPS, 1μsec-(W)

モデレーター: 水モデレーター-4cm t 17cm × 18cm

飛行距離: 620cm

タイムアナライザー: 40 μsec, 256chan.

測定時間: 2分間

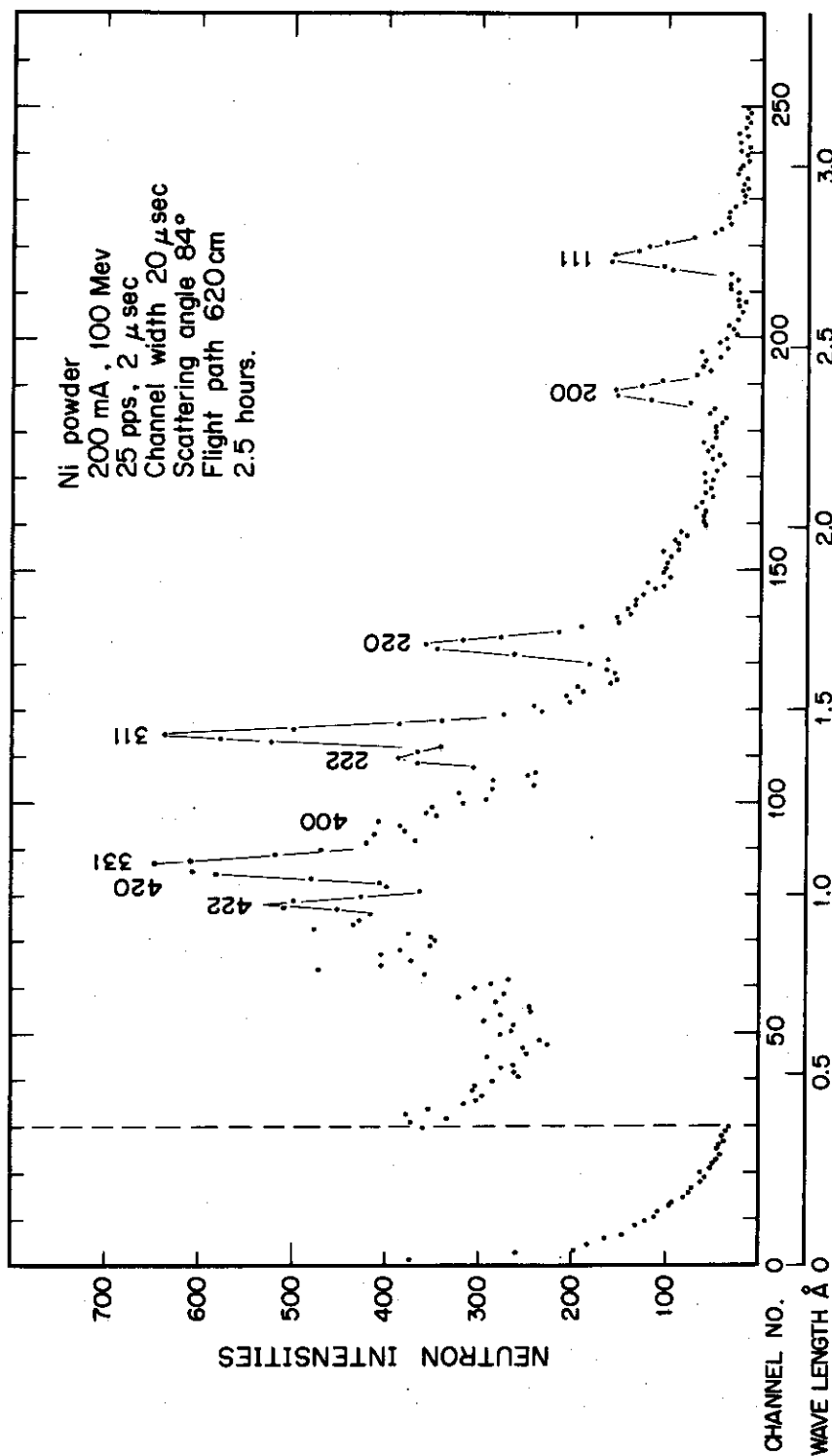


Fig. 8 水モデレーター4cmの厚さの時のNi Powder の中性子回折
 検出器角84度, チャンネル巾20 μ sec
 チャンネル数256, 測定時間2.5時間
 リニアック出力: 100 MeV, 200mA, 25PPS, 2 μ sec.

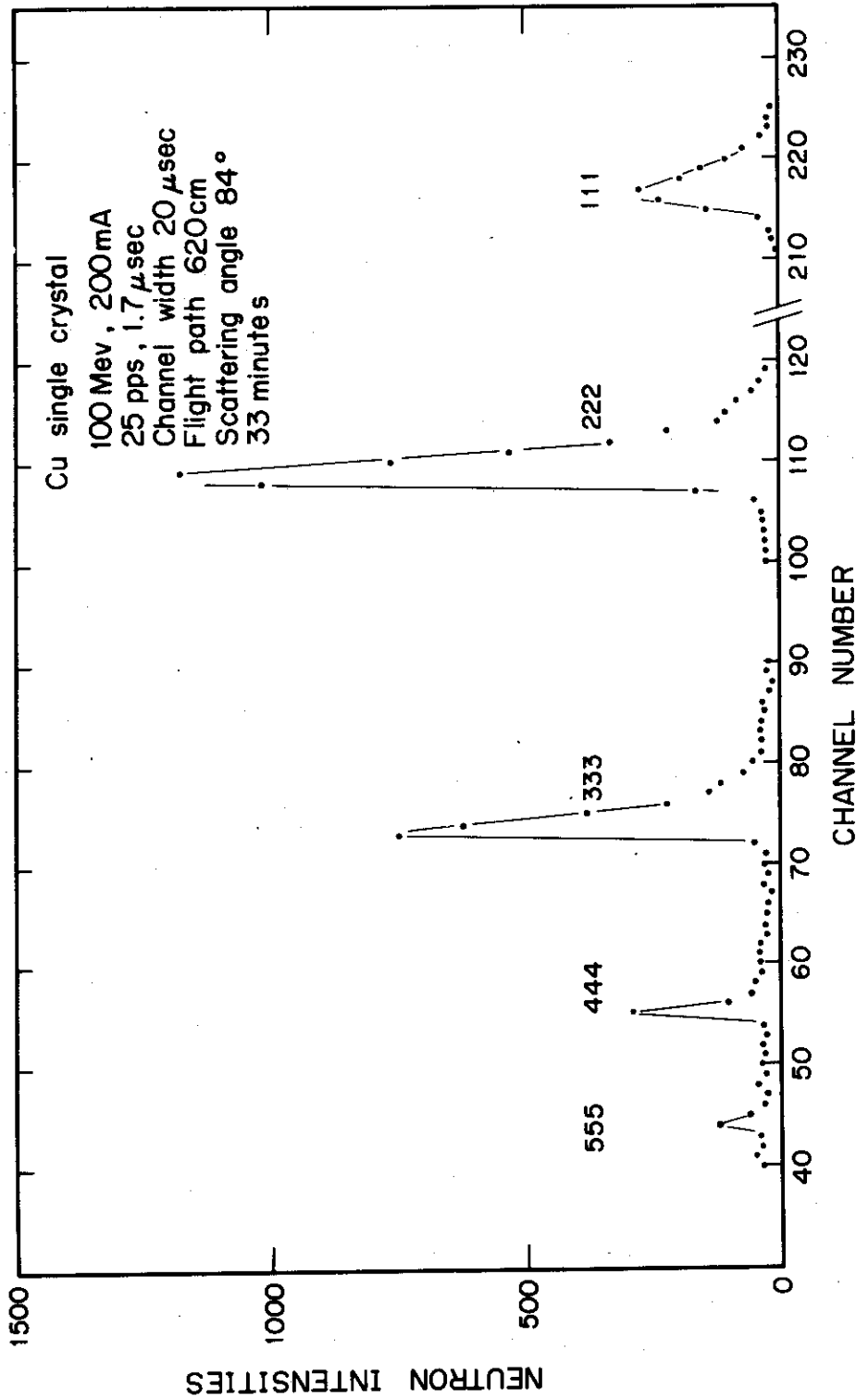


Fig. 9 水モデレーター-4cm厚さによるCu単結晶の中性子回折

検出器 84 度, チャンネル巾 20 μ sec

チャンネル数 256, 測定時間 33 分

リニアック出力: 100 MeV, 200 mA, 25 PPS, 1.7 μ sec.

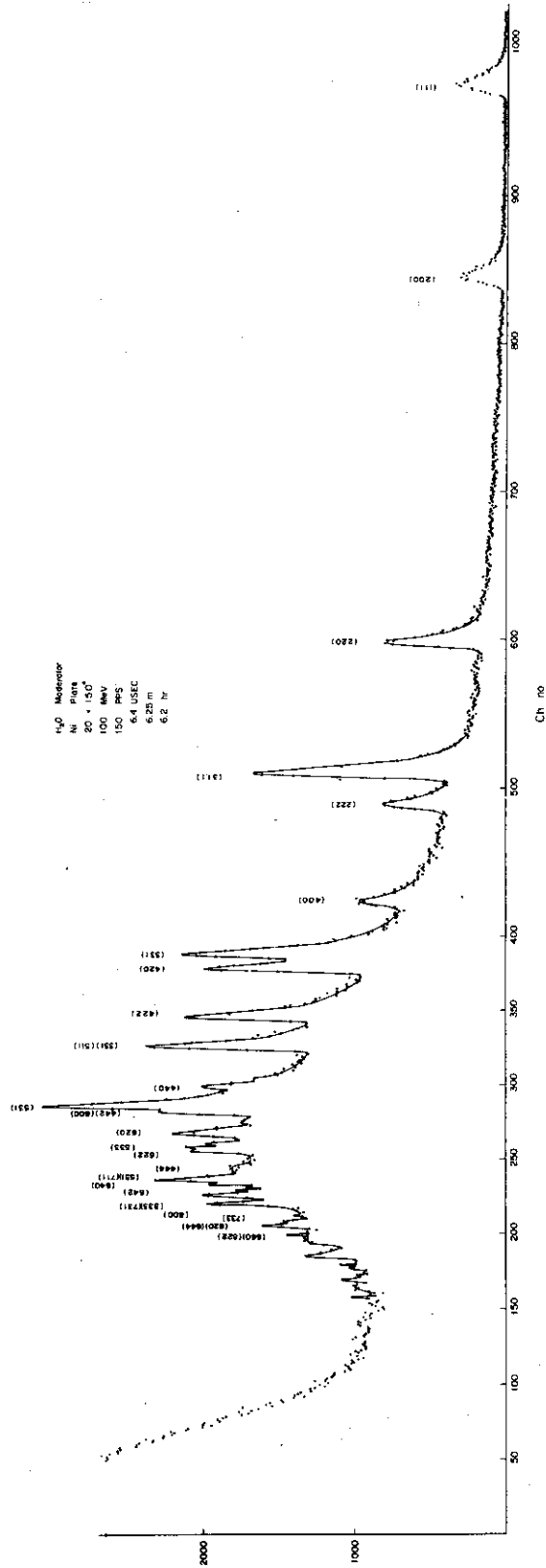


Fig. 10 水モデレーター4 cm厚さを使用した時のNi板による中性子
 回析図形。検出器角150度, チャネル巾6.4 μsec
 チャネル数1024, 測定時間6.2時間
 リニアック出力: 100MeV, 150PPS, 0.8 μsec

PE Moderator
 LiF Single Crystal
 $2\theta = 150$
 100 MeV
 150 pps
 6.4 μsec
 6.25 m

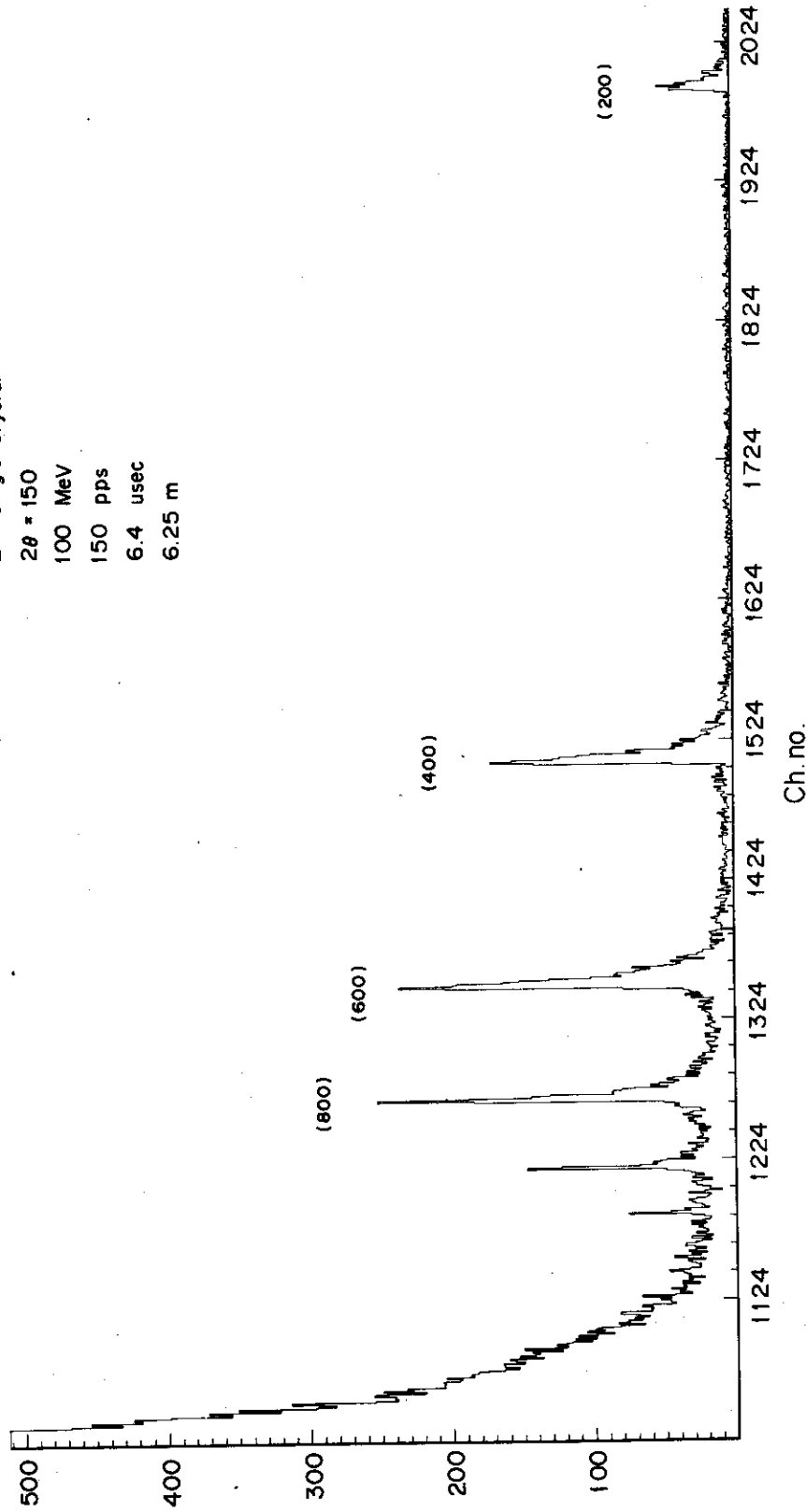


Fig. 11 ポリエチレンモデレーター4 cm厚さを使用した時のLiF単結

晶による中性子回析図形

検出器角 150° 角, チャンネル巾 $6.4 \mu\text{sec}$

チャンネル数 1024, 測定時間 2 時間

リニアック出力: 100 MeV, 150 PPS, $0.8 \mu\text{sec}$

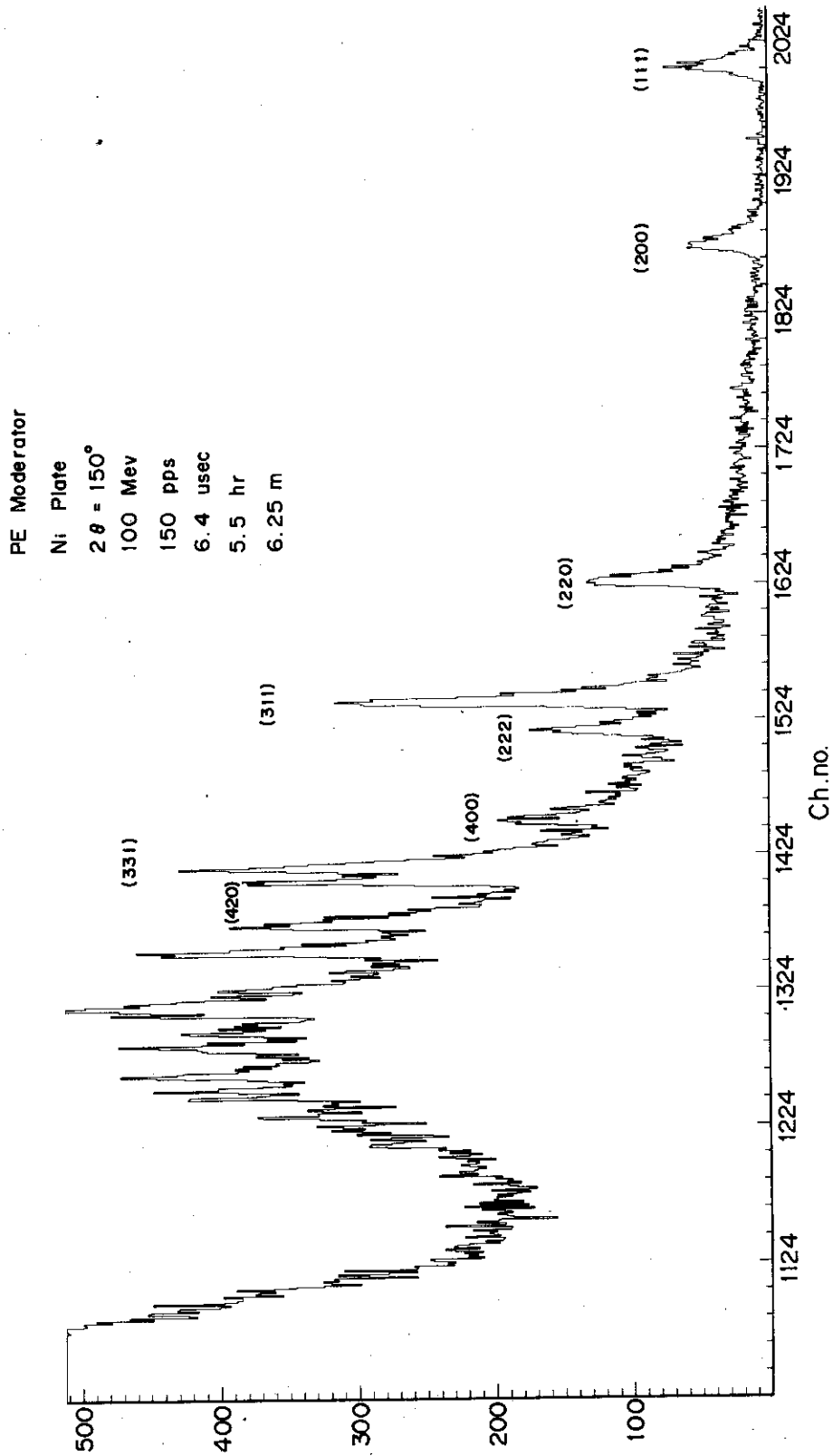


Fig. 12 ポリエチレンモデレーター 4 cm厚さを使用した時のNi板による中性子回折図形。検出器角 150° 度, チャンネル巾 $6.4 \mu\text{sec}$, チャンネル数 1024, 測定時間 5.5 時間
 リニアック出力: 100MeV, 150PPS, $0.8 \mu\text{sec}$

PE Moderator + Cd
 LiF Single Crystal
 $2\theta = 150^\circ$
 100 MeV
 150 pps
 6.4 usec
 6.25 m

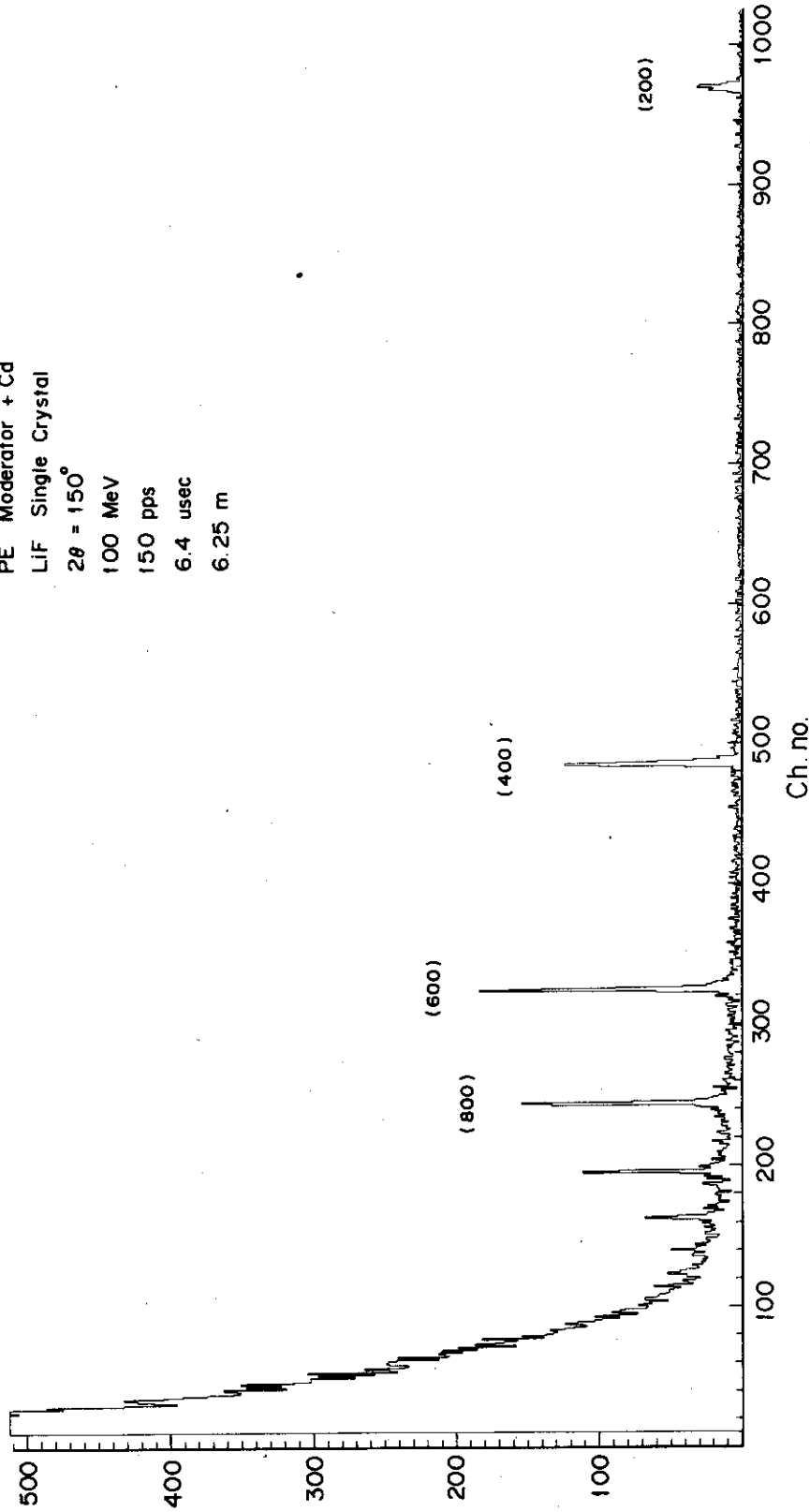


Fig. 13 ポリエチレン2cm, カドミウム0.05cm, ポリエチレン2cm
 の厚さで組立てられたモデレーターによるLiF単結晶の中性子
 回折図形。検出器角150度, チャンネル巾6.4 μ sec,
 チャンネル数1024, 測定時間2時間
 リニアック出力: 100MeV, 150PPS, 0.8 μ sec

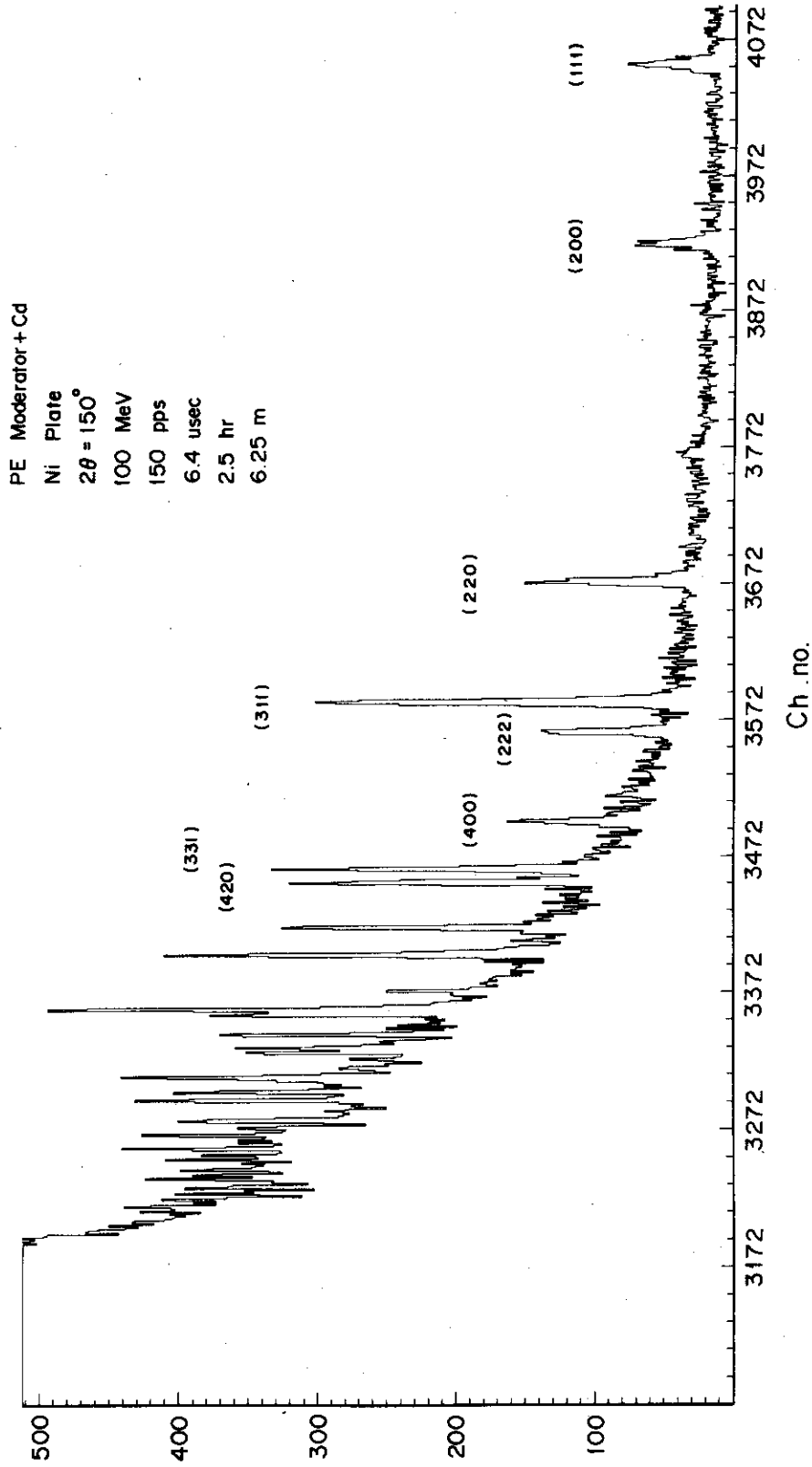


Fig. 14 ポリエチレン2cm, カドミウム0.05cm, ポリエチレン2cm
 の厚さで組立てられたモデレーターによるNi板の中性子回析
 図形。検出器角150度, チャンネル巾6.4 μ sec,
 チャンネル数1024, 測定時間6時間
 リニアック出力: 100MeV, 150PPS, 0.8 μ sec.