

JAERI-M

6000

北海道士幌馬鈴薯照射施設の概念設計

1975年3月

佐藤 友太郎・田村 直幸・青木 章平  
二階堂 昭二・橘 宏行・久米 民和  
田中 隆一・田島 訓・菊地 孝行  
河合 視己人・景山 英一

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、複製などのお問合せは、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.

北海道士幌馬鈴薯照射施設の概念設計

日本原子力研究所高崎研究所

佐藤友太郎<sup>+1)</sup>・田村直幸<sup>+2)</sup>・青木章平<sup>+3)</sup>

二階堂昭二<sup>+4)</sup>・橋 宏行<sup>+3)</sup>・久米民和<sup>+3)</sup>

田中隆一<sup>+2)</sup>・田島 訓<sup>+2)</sup>・菊地孝行<sup>+2)</sup>

河合視己人<sup>+2)</sup>・景山英一<sup>+5)</sup>

( 1 9 7 5 年 2 月 4 日受理 )

発芽防止のための馬鈴薯の $\gamma$ 線照射が昭和47年8月許可されたことにより、わが国初の実用馬鈴薯照射施設が農産物放射線照射利用実験事業として北海道士幌町に建設されることになった。原研高崎研究所は、本事業の事業主体となる士幌町農協の依頼により本照射施設の概念設計のための調査、線量測定実験および設計計算を行なった。その結果、1.5 ton入の大型コンテナを照射容器とし、線量範囲6~15 krad、照射処理能力10,000 ton/月という条件をみたす照射処置として、線源は円筒型に組立てた<sup>60</sup>Co 300 kCiとする；照射方式は線源の周囲を円形に走る1段式コンベア方式による；線源格納は水中格納方式とする等の結論が得られた。

+ 1 食品照射開発試験室（現所付）

+ 2 開発試験場

+ 3 食品照射開発試験室

+ 4 開発試験場（現管理部）

+ 5 開発試験場（現電力中研出向）

Conceptual Design of a Commercial Potato Irradiator  
for Installation in Shihoro, Hokkaido

Tomotaro SATO, Naoyuki TAMURA, Shohei AOKI,  
Shoji NIKAIDO, Hiroyuki TACHIBANA, Tamikazu KUME,  
Ryuichi TANAKA, Satoshi TAJIMA, Takayuki KIKUCHI,  
Mikito KAWAI and Eiichi KAGEYAMA

Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment, JAERI

(Received February 4, 1975)

With permission of the  $\gamma$ -irradiation of potatoes for sprout inhibition by the Government in August 1972, it was decided to construct a commercial potato irradiator in Shihoro, Hokkaido. Design study of the irradiator has been carried out by the Takasaki Research Establishment, JAERI, upon request of Shihoro Agricultural Co-operative Association which will be owner of the irradiator. Concerning the irradiation conditions and the dose distribution in a potatoes container, the following were revealed : For the large container holding 1.5 tons of potatoes with irradiation by a circular-line conveyor moving around the  $^{60}\text{Co}$  source, 300 kCi of  $^{60}\text{Co}$  at least is necessary for attaining the absorbed-dose range of 6 - 15 krad and the irradiation capacity of 10,000 tons per month. If a straight-line motion conveyor is used instead, larger intensity of the  $^{60}\text{Co}$  source is required to attain the same irradiation conditions. The source may preferably be stored in a water-filled pool rather than a lead- or concrete-shielded dry container.

## 目 次

1. まえがき	1
2. 馬鈴薯照射施設設計の技術指導依頼内容および検討事項	2
3. 馬鈴薯照射施設設計に関する要因の検討	4
3.1 照射効果に関する検討	4
3.1.1 線量範囲	4
3.1.2 照射効果の線量率依存性	4
3.1.3 照射時期	4
3.1.4 照射温度, 濕度および雰囲気	4
3.1.5 品種別および品質別照射効果	4
3.2 照射技術に関する検討	6
3.2.1 照射容器の形状および大きさ	6
3.2.2 照射方法および照射ラインの形状	6
3.2.3 線源形状	6
3.2.4 線源格納方式	6
3.2.5 線源量 ( Ci )	8
3.2.6 照射室迷路および出入口の方式	8
3.3 建設費および安全性に対する考慮	8
3.3.1 収穫, 貯蔵, 流通と照射との関係	8
3.3.2 建設費および運転維持管理費に対する考慮	9
3.3.3 照射施設の設置場所に対する考慮	9
3.3.4 安全対策	9
4. 馬鈴薯照射施設に関する設計計算の基礎	10
4.1 計算条件	10
4.2 計算方法	10
5. 大型コンテナに詰めた馬鈴薯の線量測定	13
5.1 実験内容	13
5.2 実験方法	13
5.2.1 フリッケ線量計による吸収線量測定法	13
5.2.2 照射条件	13
5.2.3 試料の平均密度および最大密度	14
5.3 実験結果および考察	14
5.3.1 大型コンテナ内の試料の吸収線量分布	14
5.3.2 吸収線量測定値のバラツキについて	15
5.3.3 ビルドアップ係数の経験式の決定	16
5.3.4 ビルドアップ係数に関する考察	16

JAERI-M 6000

6. 線量分布計算による照射方式の検討	21
6.1 定置照射	21
6.1.1 計算方法	21
6.1.2 計算結果	21
6.1.3 試料容器厚さの効果	22
6.2 リニアラインコンペアによる照射	22
6.2.1 1段式リニアライン方式	22
6.2.2 2段式および3段式リニアライン方式	26
6.2.3 リニアラインコンペア方式の検討	27
6.3 サークルラインコンペアによる照射	27
6.3.1 計算方法	27
6.3.2 計算結果	33
6.3.3 試料密度の効果	33
6.4 照射方式に関する考察	33
6.4.1 各照射方式の比較	33
6.4.2 照射方式に関する結論	34
7. まとめ	38
8. 付記	38
9. 謝辞	42
10. 参照文献	42

## 1. まえがき

昭和42年以降農林省、厚生省、通産省所属研究機関をはじめ、原研、理研、大学、公立研究機関等により原子力特定総合研究として進められている食品照射開発研究においては、その成果の一つとして昭和47年8月馬鈴薯について発芽防止を目的とするγ線照射が厚生省により正式に許可された。これにより我が国の食品照射も実用化、企業化の段階へと進むこととなった。ここにおいて農林省では、48年度事業として馬鈴薯の発芽防止のための<sup>60</sup>Co 照射施設を馬鈴薯の主生産地である北海道士幌町に建設することを計画した。この計画の事業主体となる士幌町農協では、この計画を受けて施設の概念設計に関する技術指導を原研高崎研究所に依頼した。高崎研究所では従来<sup>60</sup>Co 照射装置について、Co 第1棟、第2棟および食品Co 棟等の設計、建設に関する技術と経験を蓄積していたが、食品照射技術とりわけ大量照射技術については当時データの蓄積が少なく、実用照射施設の設計に当りそのまま参考資料として利用できるものはごくわずかしかないという現状にあった。そこで高崎研究所ではこの技術指導依頼に十分対処するため、食品照射開発試験室および照射施設課を中心として士幌照射施設ワーキンググループ(γ線照射施設開発グループ)を組織し、馬鈴薯照射施設の概念設計について本格的な検討を行なうこととした。以来このグループでは建設部その他の協力を得て技術面、経済面等について種々検討を行ない、48年2月その結論をまとめた。士幌町農協ではこの報告に基づき48年3月施設の建設を開始した。高崎研究所では建設中においても建家、装置、および試運転等について技術指導を続けた。そして48年12月わが国における実用食品照射施設第1号「士幌アイソトープ照射センター」として竣工した。この施設では竣工後ひき続いて本運転が開始され、48年産馬鈴薯については約15,000 ton の照射が行なわれた。

本報告は高崎研究所における士幌照射施設ワーキンググループが士幌照射施設の概念設計について検討した内容をまとめたものである。

## 2. 馬鈴薯照射施設設計の技術指導依頼内容および検討事項

士幌町農協より高崎研究所に依頼された技術指導依頼内容の大要は下記の通りである。

- (題目) 馬鈴薯の発芽防止のための $\gamma$ 線照射施設の設計
- (目) 馬鈴薯の発芽防止による貯蔵性向上のための放射線照射施設に関して、多量の馬鈴薯の照射方法の確立および $\gamma$ 線照射施設の設計
- (内容)
  - (1) 馬鈴薯を大型照射容器によって、効率よくかつ均一に照射する技術の確立
  - (2) 条件
    - 処理能力 10,000 ton/月
    - 照射容器(内法) 幅 98 × 長 164 × 高 130 cm
    - 吸収線量 6 ~ 15 krad

この依頼内容に対処して照射施設の概念設計を進めるに当っては、どのような装置によれば照射が円滑に行なわれ、かつ十分な照射効果が得られるかという技術的問題についての検討のほか、実用装置ということから経済性との関連および安全性保持の問題等についても考慮しなければならない。そこで、まず最初どのような形式の照射施設がのぞましいかその概略についてイメージを描くため、設計上検討を要すると考えられる下記各事項について、これまでの文献、資料、現地調査および実験等により検討することとした。

### 検討事項

#### (1) 照射効果に関する検討事項

##### 1) 線量範囲

線量の最高は法により 15 krad<sup>1)</sup>と定められているが、発芽防止のための最低必要線量はいくらくか。

##### 2) 照射効果の線量率依存性

$\gamma$ 線照射による発芽防止効果に線量率依存性があるかどうか。

##### 3) 照射温度、湿度および雰囲気

照射時の温度、湿度および雰囲気の相違により発芽防止効果に差異があるかどうか。

##### 4) 照射時期

馬鈴薯の照射に適する時期およびその期間はいつか。

##### 5) 品種別、品質別の照射効果

馬鈴薯の品種の相違、産地の相違および傷の有無等により発芽防止効果に差異があるか。

#### (2) 照射技術に関する検討事項

##### 1) 照射容器の形状および大きさ

照射は容器によるのがよいか、バラのまま行なうのがよいか、もし、容器を用いるとすればいかなる形、大きさのものがよいか。

##### 2) 照射方法

照射方法として固定照射、移動照射のいずれを採用すべきか、また、片面照射でよいか、両面照射でなければならないか。

3) 線源形状

線源の形、大きさおよび組立の形状はどのようなものがよいか。

4) 線源格納方式

水中格納方式(湿式)と容器格納方式(乾式)のどちらを採用すべきであるか。

5) 線源量(Ci)および照射室の遮蔽能力

線源量(Ci)は、照射処理能力等との関連においていくらとすればよいか。また照射室の遮蔽能力は将来線源を増加することもできるようどこまでみておくべきか。

6) 照射室の迷路および出入口の方式

照射室における試料搬出入用迷路および作業員用出入口はどのような方式とするか。

(3) 建設費および安全性に関する検討事項

馬鈴薯の生産、流通と照射工程との関係、照射施設の建設費、運転維持費および安全対策等についての考慮。

以下これらの事項について検討および考察した結果を述べる。

### 3. 馬鈴薯照射施設設計に関する要因の検討

#### 3.1 照射効果に関する検討

##### 3.1.1 線量範囲

最高線量については 15 krad と法で規定されており、最低線量については、これまでに行なわれた発芽防止効果に関する試験結果<sup>2)</sup>からパッケージ照射における線量均一度（最高線量と最低線量の比）等を考慮すると、6 krad が最低必要線量であると考えられる。したがって発芽防止のための線量範囲は依頼通り 15~6 krad とすることが適当であると考えた。これにより線量均一度を求める  $D_{max}/D_{min} = 15 \text{ krad} / 6 \text{ krad} = 2.5$  となる。線量均一度は照射方法により左右されるものであるが、実際の照射では線量均一度を向上させる方がのぞましいので、設計に際しては 2.5 より低くする方向で検討することとした。

##### 3.1.2 照射効果の線量率依存性

馬鈴薯の  $\gamma$  線照射による発芽防止効果の線量率依存性について、これまでの報告内容を Table 1 に示した。これらのデータのうち多くのものは極端な場合が多く、あまり参考にならない。アメリカ、カナダの実験では線量率依存性はほとんど認められないとされているので、極端に線量率が低くならないと考えられる実用線量範囲において線量率依存性はないものと思われる。

##### 3.1.3 照射時期

馬鈴薯の照射に適する時期はキュアリング期間終了後発芽までの休眠期間中とされている<sup>2)</sup>。キュアリングとは、収穫後表皮にコルク層が形成し貯蔵性の高まることで、通常収穫後 3~4 週間で終わる。また休眠期間は品種および貯蔵条件等にもよるが、一般に収穫後約 100 日間である。北海道の現地における馬鈴薯の収穫時期は 9 月から 11 月までなので、したがって最適照射時期は 9 月下旬から 1月初め頃までということになる。

##### 3.1.4 照射温度、湿度および雰囲気

照射中の温度、湿度および雰囲気等の環境条件が馬鈴薯の発芽防止効果に及ぼす影響を示したデータは現在見当らない。したがって現状では設計上これらの詳細について考慮することはできない。しかし照射時期が冬期となることおよび寒冷地ということを考え、冷房の必要はないが試料の凍結はさけなければならない。また照射室内的換気設備は必要と考えられる。

##### 3.1.5 品種別および品質別照射効果

これまでの報告によれば産地別、品種別により馬鈴薯の照射による発芽防止効果に大差なく<sup>2) 3)</sup>、また、外部的に傷を受けたものについても照射による影響は認められないとされている<sup>4)</sup>。したがってこれらの点については特に考慮しなくてもよいと考えられる。しかし、馬鈴薯の大きさおよび水分含量の差異は照射容器内における充填密度すなわち見かけの密度に影響し、

Table 1. Effect of Dose Rate on Sprout Inhibition of Potatoes  
by  $\gamma$ -Irradiation

Researchers	Results obtained
Jaarma	The dose rate of 600 krad/hr is more effective than 100 rad/hr.
Kruschev et al.	The 630 rad/min is more effective than 40 rad/min.
Kahan et al.	There is no difference between 19 krad/hr and 76 krad/hr.
Mathur	In the dose rate ratio of 1 : 12, the higher dose rate is more effective.
Heilinger	The 45 R/min is more effective than 4 R/min.
Ogata et al.	The $1.6 \times 10^5$ R/hr is more effective than 500~1000 R/hr.
In America and Canada	No effects of dose rate are shown except for only one case.

線量均一度に影響する可能性があるので、これらの点については照射技術の面において検討しなければならない。

### 3.2 照射技術に関する検討

#### 3.2.1 照射容器の形状および大きさ

照射容器の形状は、照射方式、照射ライン形状、必要線源数量、照射処理能力および線量均一度等に大きな影響を与える重要な因子である。なかでも特に線源に対する厚さ方向が最も重要な因子となる。照射技術の観点からのみ判断するならば、照射容器はできるだけ小さくした方が装置の機械的構造等において有利であり、また厚さはできるだけ薄い方が線量均一度の面において有利であるといえる。ところで土幌農協よりの依頼内容は現在馬鈴薯の貯蔵、流通用に用いている 1.5 ton 入、内法幅 98 × 長 164 × 高 130 cm の金網製大型コンテナをそのまま照射容器として使用したいというものであった。このように大きなものを照射容器とすることについては、照射技術上かなりの困難が予想されたが、もしこのコンテナで照射できるならば、照射施設の運営上極めて好ましいこととなるので、今回土幌農協の強い希望に基づき、この大型コンテナをそのまま照射容器とし 98 cm の幅を照射方向として検討することとした。なお照射処理能力は依頼により 10,000 ton/月 を目標とすることとした。

#### 3.2.2 照射方法および照射ラインの形状

固定照射か移動照射かについては、照射処理能力および作業性の点から移動照射方式によることがのぞましく、このため照射用コンベアが必要となる。また両面照射か片面照射かについては、線量均一度および照射容器の大きさ等からみて両面照射方式を採用しなければならない。照射用コンベアについては照射条件をある程度調節可能とするため、タクト運転ができる、しかも線源とコンベアとの距離およびコンベアスピードは可変のものがよいと考えた。また、照射ラインの形状としてはリニアライン方式およびサークルライン方式が考えられ、それについて検討した結果（6章参照）、今回の施設はサークルライン方式とするのがよいとの結論を得た。

#### 3.2.3 線源形状

線源の形状に関しては照射方式との関連において検討を行ない、1 mm φ × 1 mm l のペレット型 <sup>60</sup>Co を 12 mm φ × 300 mm l の不鏽鋼 SUS316L にカブセリングしたもの用いるのがよいとした。これは現在高崎研究所で用いているものとほぼ同じタイプのもので、1 本当たり約 7,000 Ci である。この線源は入手が比較的容易で密封の安全性が高く、現地での組立てが可能であり、しかもカブセルの材質が発熱に対して考慮されている。また、照射容器として用いる大型コンテナは高さ約 130 cm であるので、線源架台としては、上記線源を 3 本まで縦に並べることができるように、高さ約 100 cm とするのがよいと考えた。

#### 3.2.4 線源格納方式

線源格納方式は照射方式、線源形状をはじめ、線源駆動装置の形状、照射室の形状、安全対

策等も考慮して決定しなければならない。 $^{60}\text{Co}$  照射施設の線源格納方式としては水中格納方式（湿式）と容器内格納方式（乾式）とがある。そこでこの両方式について長所、短所を比較し、今回の施設はいずれの方式によるのがよいか検討した。

#### (A) 水中格納方式（湿式）

水中格納方式とは照射室の下に水深 6 m 程度のプールを設け、非照射時にはこのプール内に線源を格納し、照射時には線源を線源駆動装置により照射室内に持ち上げ、照射する方式である。線源駆動装置への線源ケースの収納はプール内水中にて行なう。水中格納方式の主な特長および欠点はつきのとおりである。

##### (1) 特 長

- 1) 線源組立ておよび線源組替え等の操作を現地において比較的容易に行なうことができる。
- 2) 線源の輸送は現在かなり用いられている線源輸送用容器（40 kCi 用）により行なうことことができる。
- 3) 線源駆動装置は 1 ~ 3 組設置すればよく、線源架台ごとに取り付ける必要がない。
- 4) 線源の補充または増強に伴ない、線源収納設備および線源駆動装置等を増設する必要がない。
- 5) 線源駆動装置に万一故障が生じた場合、対策が比較的容易である。

##### (2) 欠 点

- 1) 線源 300 kCi とした場合、かなり大きなプール（縦 3 m × 横 12 m × 深 6 m 程度）が必要である。
- 2) プールには水の浄化設備および寒冷地のため凍結防止対策が必要である。
- 3) 線源駆動装置等について耐水性を考慮する必要がある。
- 4) 年 1 回程度プールの水抜き点検および清掃を必要とする。
- 5) 水抜き等の場合のためプール内に別に線源格納場所を必要とする。

#### (B) 容器内格納方式（乾式）

いっぽう、容器内格納方式とは専用の鉛製容器を準備し、これに線源を入れて照射室床下ピット内に設置し、照射時には線源を容器内より照射室内に持ち上げ、照射する方式である。線源は鉛製容器の蓋の下部に収納されており、照射の際は線源駆動装置により蓋ごと引き出される。鉛製容器への線源収納は例えば日本アイソトープ協会（東京）の特殊大型ホットラボにより行なわれ、そのまま輸送される。容器内格納方式の主な特長および欠点はつきのとおりである。

##### (1) 特 長

- 1) 線源格納のための現地での作業は鉛製容器の蓋と線源駆動装置とを接合することのみでよい。
- 2) 鉛製容器より線源駆動装置を取りはずすことにより、そのまま線源を輸送することができる。
- 3) 線源駆動装置等の耐水性を考慮する必要がない。

##### (2) 欠 点

- 1) 線源 300 kCi とした場合、現在の線源輸送用容器にくらべ 3 倍程度大型の専用鉛製容器

(直径約80cm, 高さ約165cm) が少なくとも6個あるいはそれ以上必要となる。

- 2) 重量8tonあるいはそれ以上の鉛製容器を収納するため, 照射室床下に強度30ton/m<sup>2</sup>程度のピットが必要である。
- 3) 鉛製容器1個ごとに線源駆動装置が必要である。
- 4) 線源組替えを現地で行なうことができない。
- 5) 線源の補充または増強に伴ない, 鉛製容器および線源駆動装置等の増設が必要となる。
- 6) 線源駆動装置に万一故障が生じた場合, 対策が困難である。

以上述べたように, 水中格納方式, 容器内格納方式にはいずれも一長一短があり, 技術的には特にどちらでなければならないという結論は得られなかった。そこで, 建設経費の概略を試算してみたところ, 線源減衰分補充時に必要となる上記諸設備の増設経費を含めると, 水中格納方式のほうが容器内格納方式より10~20%安くできることがわかった。また, 水中格納方式については, 高崎研究所においてこれまでに大線源収納用としての建設の実績があり, 安全性についても実際の使用経験から信頼性が高いと判断された。以上のことから, 今回の施設の設計は水中格納方式(湿式)として進めることとした。

### 3.2.5 線源量(Ci)

必要線源量(Ci)は照射方式, 照射処理能力, 線量および線源利用効率等により決定される。また照射施設の遮蔽能力はこの必要線源量(Ci)を基とし, 将来照射処理能力の増強等を計画した場合に必要となる線源の最大使用Ci数により決定されるべきものである。今回の施設の当初予定線源量(Ci)は後述(6章参照)の計算値に基づき300kCiとするが, 遮蔽能力については依頼により1,000kCiまで収納可能として検討することとした。

### 3.2.6 照射室迷路および出入口の方式

コンベアによる移動照射方式を採用すれば, 照射室には試料の搬入, 搬出用としては少なくとも1~2の迷路が必要となる。迷路においては散乱線が生じ, これは照射容器表面の線量を増加させる方向に作用するので, これにより線量均一度が低下することも考えられる。したがって迷路の方式の決定に当っては散乱線の影響を極力小さくするよう考慮する必要がある。また作業員等の照射室内への出入口については, コンベア用迷路を使用するか, 専用の迷路を別に設けるか, あるいは独立の遮蔽扉を設けるかの三つの方式が考えられる。この点について, 施設全体の機能, 作業性および安全対策等から判断した結果, コンベア用迷路の形はできるだけ単純化し, 作業員用には別に専用の迷路を設けるのがよいと考えた。

## 3.3 建設費および安全性に対する考慮

### 3.3.1 収穫, 貯蔵, 流通と照射との関係

馬鈴薯の収穫, 貯蔵, 流通等には季節性があるので, 照射の時期や場所は考慮を要する問題である。馬鈴薯の最適照射期間は前述(3.1.3参照)のように収穫後約100日間とされている。したがって, この期間内にできるだけ効率のよい照射を行なうことがのぞましい。このため照射の場所を生産地とするか消費地とするか, また照射形態としてパッケージ, パラのまま,

あるいは大型コンテナのどれを用いるのがよいか等について、あらかじめ全体の流通経路との関連において検討しておくことが必要である。さらに馬鈴薯を照射しない期間における照射施設の利用法についても考慮する必要があろう。今回の馬鈴薯照射についてこれらの点を検討した結果、照射容器としては前述(3.2.1参照)のとおり特に新らしいものを製作せず、従来貯蔵、輸送用として使用されている大型コンテナをそのまま用いることとした。また照射は生産地において行ない、その後貯蔵および輸送に移すのが最もよいであろうと判断した。

### 3.3.2 建設費および運転維持管理費に対する考慮

施設の建設に当たりどれだけの初期投資が必要となるか、また施設の運営にどれだけの経費が必要となるかについては照射コストに影響するものとして設計上考慮しなければならない事項である。初期の設備投資のうち特にγ線照射施設の場合最も大きいのが建設費である。これは遮蔽能力の設定、遮蔽躯体の大きさ、遮蔽材質の選択にもよるが、一般には施設総工費の60～80%を占めると思われる。したがって今回の場合、遮蔽については安全対策上十分なものとするが、その他については放射線管理が十分行なえる範囲内においてできるだけ建築費を少なくする方向で検討することとした。つぎに費用の大きいのは<sup>60</sup>Co線源であり、ついで試料移送用コンベア、線源駆動装置の順となる。線源についてはできるだけ線源利用率を高くして使用線源量(Ci)を少なくしたいと考えた。しかし、このために線量均一度が2.5以上となるようでは意味がないので、ある程度線源利用効率が低下することとなつても線量均一度のほうを優先させなければならないとし、結局約300kCiの線源が必要ということとなつた(6章参照)。また試料移送用コンベアおよび線源駆動装置についてはできるだけ単純なものとし、保守、補充の容易な規格品の使用を中心として考えることとした。施設の運転維持管理についてはできる限り省力化をはかるため、少ない人員で十分管理できるような監視設備、制御方式および安全対策設備の採用を考えた。

### 3.3.3 照射施設の設置場所に対する考慮

照射施設の設置場所に関しては、照射施設の規模、形式、管理体制、安全対策および施設との関係等を考慮することが必要である。とくに照射施設の遮蔽コンクリートの総重量は極めて大きなものとなるので建設場所の地耐力については十分考慮する必要がある。また、気温、降雨量、降雪量および地震等の自然環境に対する配慮も必要となろう。さらに交通輸送機関との関係も立地上重要な要素であると考えられる。これら設置場所に関しては意見として述べ、現地農協において十分考慮してもらうこととした。

### 3.3.4 安全対策

照射施設については原子力関係施設としての安全対策を十分考慮する必要がある。このため、線源駆動装置および試料移送用コンベア等の各装置に運転管理上からも必要なものとして、インターロック、警報表示装置、監視装置および保護装置等を設置することとした。

以上、馬鈴薯照射施設の設計上検討を要する各種要因について検討および考察した結果の概略を述べた。つぎに、これら検討の過程において行なった設計計算および線量測定実験の結果等について述べる。

## 4. 馬鈴薯照射施設に関する設計計算の基礎

3章であげた照射要因をみたす馬鈴薯照射施設の設計にあたってます必要なのは、大型コンテナ内での馬鈴薯の線量分布の算定と、それを所定の線量範囲内におさめるための照射方式および照射条件の決定である。

### 4.1 計算条件

このような大型コンテナ内の被照射物を所定の線量範囲内におさめ、かつ効率よく線源を利用する照射技術を確立する上に考慮すべき条件としては、1) 被照射物の種類、寸法、線量範囲、照射処理量 2) 線源の種類、形状、必要線源量 (Ci) 3) 線源と被照射物の幾何学的配置、試料搬送用のコンベアスピード等があげられる。これらの諸条件の中で、被照射物の種類、寸法、線量範囲、照射処理量、線源の種類等は3章で述べたように設計の前提としてきめられているので、つぎに照射要因をみたす線源形状、必要線源量 (Ci)、線源と被照射物の幾何学的配置等を計算により検討しておく必要がある。

### 4.2 計算方法

計算は本来吸収線量 (rad) を単位で行うべきであるが、ここでは便宜上照射線量 (R) 単位で行った。 $^{60}\text{Co}$  からの1次 $\gamma$ 線を基準にすれば、水等価な物質の中の1 R は 0.965 rad である。しかし、この相対的なわずかな差は概略計算では重要でないので、最終結果においてのみ考慮した。

点線源から  $r$  (cm) 離れた点における照射線量率  $\dot{X}_1$  (R/hr) は

$$\dot{X}_1 = \frac{\Gamma S_p}{r^2} \quad (1)$$

で表わされる。

ここで  $\Gamma$  :  $\gamma$  放射定数 (ラム値)

$S_p$  : 点線源の線源量 (Ci)

この点線源と測定点の間に厚さ  $t$  (cm) の吸収物質があった場合の照射線量率  $\dot{X}_2$  (R/hr) は(2)式のようになる。

$$\dot{X}_2 = \frac{\Gamma S_p}{r^2} B(t) \exp(-\mu \rho t) \quad (2)$$

ここで  $\mu$  : 吸収物質の  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  線に対する質量減衰係数 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )

$\rho$  : 試料の密度

$B(t)$  : 線量ビルトアップ係数

線源が Fig. 1 に示すような面状線源の場合には、面状線源の任意の単位面積  $Q$  によって被照射物内の P 点 (被照射物の中心線上の任意の点) が受ける照射線量率  $\dot{X}_3$  (R/hr) は

$$\dot{X}_3 = \frac{\Gamma S_a}{r^2} B(t) \exp(-\mu \rho t) \quad (3)$$

$$= \frac{\Gamma S_a B(t) \exp \left\{ -\mu \rho t \left( \frac{r}{d+t} \right) \right\}}{(d+t)^2 + \ell^2 + k^2} \quad (3)$$

で表わされる。

ここで  $S_a$  : 単位面積当たりの線源量 ( $\text{Ci/cm}^2$ )

$d, t, r, k, \ell$  : 被照射物と線源の配置に関する距離 ( $\text{cm}$ ) (Fig. 1 参照)

したがって、P点が面状線源全体から受ける照射線量率  $X_m$  ( $\text{R/hr}$ ) は、(3)式を  $\ell$  と  $k$  について積分すれば求められる。

$$X_m = 4 \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} \int_{k_{\min}}^{k_{\max}} \frac{\Gamma S_a B(t) \exp \left\{ -\mu \rho t \left( \frac{r}{d+t} \right) \right\}}{(d+t)^2 + \ell^2 + k^2} dk d\ell \quad (4)$$

(4)式の計算において、ビルドアップ係数の取扱いが最も重要な因子となってくる。

種々の文献からえられるγ線のビルドアップ係数は、いくつかの単純化された幾何学的条件を仮定しているので、Fig. 1 に示した複雑な幾何学的条件に対して、そのまま適用することはできない。本照射施設の概念設計においては、Fig. 1 に類似した幾何学的条件に適用できるビルドアップ係数を実験的に求めるのがよいと考えられる。そのため実際に用いる大型コントローラに馬鉛壁を詰めて吸収線量分布測定のための照射実験を行うことにした。

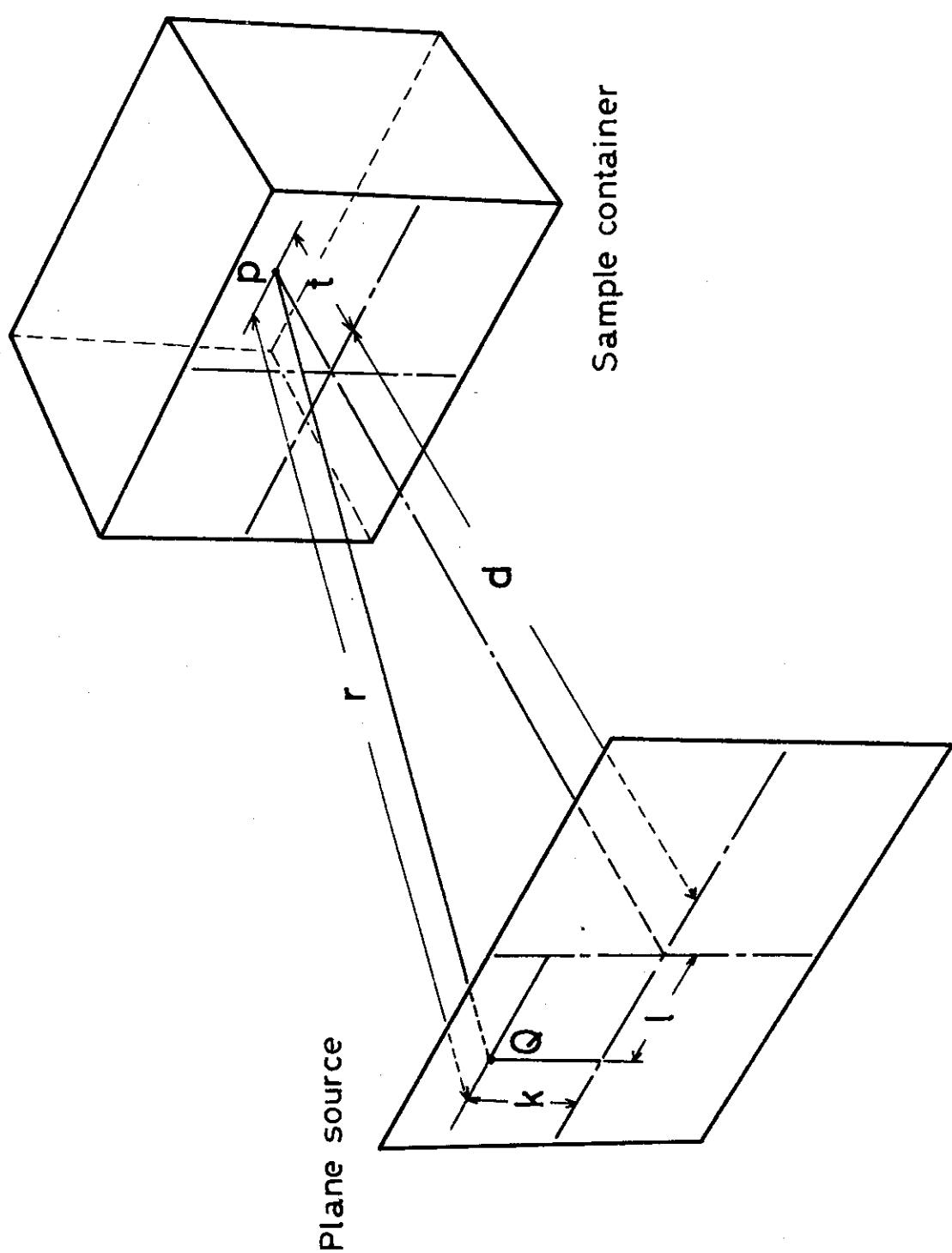


Fig. 1 Calculation Model

## 5. 大型コンテナに詰めた馬鈴薯の線量測定

### 5.1 実験内容

馬鈴薯照射の実用化に際しては、発芽防止に必要な最低線量と最高許可線量の範囲内で照射することが必要である。発芽防止に必要な最低線量に関しては、従来パッケージ照射を行なった試料について 7 krad 照射すれば十分であることが報告されているが<sup>2)</sup>、この場合、パッケージ内における線量均一度を考慮すると、試料中の実際の線量分布範囲は約 6 ~ 8 krad であったことより、6 krad 以上照射すれば発芽防止効果があると考えられる。したがって、ここでは発芽防止に必要な最低線量を 6 krad とし、最高許可線量 15 krad との範囲内で照射できる装置を設計すればよいと考えた。

そこで、実際に使用する大型コンテナに馬鈴薯を詰めて吸収線量分布を測定し、許容線量範囲内で照射できるかどうか検討した。線量計としては食品照射において一般に用いられているフリッケ線量計を用いた。馬鈴薯の実用照射においては化学線量計により線量測定を行なうことが規定されており<sup>5)</sup>、フリッケ線量計は化学線量計のなかで比較的精度が高く、エネルギー依存性の小さいものである。また、線量測定の結果得られた深部線量分布曲線から、類似の幾何学的条件に対して適用可能なビルドアップ係数の経験式を導き、文献値との比較を行なった。

### 5.2 実験方法

#### 5.2.1 フリッケ線量計による吸収線量測定法

3回精製水を用いて調製した硫酸第1鉄溶液（鉄濃度  $4 \times 10^{-2}$  M、食塩濃度  $10^{-3}$  M の 0.8 N 硫酸酸性水溶液）を酸素飽和して  $10 \times 150$  mm、肉厚 1 mm の共栓付バイレックス試験管にとり照射した。照射後日立 139 型分光光度計により 304 nm における吸光度変化を測定し、次式により吸収線量を求めた<sup>6)</sup>。

$$\text{吸収線量 (rad)} = \frac{\Delta E}{G \rho \epsilon \left\{ 1 + \frac{k}{100} (T - 20) \right\}}$$

ここで、 $\Delta E$  : 吸光度変化

G : 放射線収率 (15.6)

$\rho$  : 溶液の比重 (1.025)

$\epsilon$  : 分子吸光係数 (2130 at 20°C)

k : 温度補正係数 (0.806)

T : 測定液の温度 (°C)

#### 5.2.2 照射条件

照射容器としては、現在馬鈴薯の貯蔵および輸送用として用いられている幅 110 × 長 170 × 高 140 cm (内法 98 × 164 × 130 cm) の金網製大型コンテナを用いた。このコンテナに馬

鉛薯を詰めて、線源に対して Fig. 2 に示したように置き、図中に示した A, B, C ライン上および線量が最も低いと考えられる O 点にコルクボーラーで穴をあけ、フリッケ線量計を各測定点に 2 本並列して照射した。線源としては  $30 \times 30 \text{ cm}$  の  $^{60}\text{Co}$  板状線源を用いた。線源量(Ci)は、コンテナの前面における線量が照射 1 時間当り約 15 krad となるように調整し、線源とコンテナ間の距離が約 2 m のときは 62500 Ci, 約 4 m のときは 217,000 Ci とした。照射は高崎研 Co 棟第 2 照射室(内法 5.0 mW × 6.6 mL × 4.6 mH)で行なった。

### 5.2.3 試料の平均密度および最大密度

試料の平均密度はコンテナ中に無作為に詰めた馬鈴薯の全重量をコンテナの内容積で割った値として求めた。コンテナの相違および馬鈴薯の詰め方などにより測定値に多少のバラツキが認められたが、平均密度は約  $0.72 \text{ g/cm}^3$  であった。また、試料の最大密度は、フォークリフト上でコンテナを振動させながら最大限詰めた馬鈴薯の全重量を上記と同じくコンテナの内容積で割った値として求めた。この場合コンテナ側面の金網がややふくらんだことによる誤差も多少あると思われるが、最大密度は約  $0.75 \text{ g/cm}^3$  であった。

## 5.3 実験結果および考察

### 5.3.1 大型コンテナ内の試料の吸収線量分布

線源とコンテナ前面との距離 205 cm の場合について、A ライン上における吸収線量分布および空間照射線量分布を照射 1 時間当りの線量として Fig. 3 に示した。B, C ライン上および O 点における吸収線量分布は A ライン上における吸収線量分布とほぼ一致していることが認められた。この結果よりコンテナを反転して両面照射した場合における  $D_{\max}/D_{\min}$  を求めたところ 3.0 となった。ここで  $D_{\max}$  は A ライン上におけるコンテナ前面の線量と後面の線量の和、 $D_{\min}$  はコンテナの中心(本実験に用いたコンテナでは実測で奥行 50 cm のところ)における線量の 2 倍の値である。この結果、線源とコンテナとの距離 2 m では線量均一度 2.5 以内で照射することが不可能であることがわかった。

そこで、つぎに線源とコンテナとの距離を約 4 m(実測値 398 cm) 離した場合について吸収線量分布を求めた。Fig. 4 は線源とコンテナとの距離 398 cm における A ライン上の吸収線量分布および空間線量分布を照射 1 時間当りの吸収線量として示したものである。B, C ライン上および O 点における吸収線量分布は 205 cm の場合と同じく A ライン上における吸収線量分布とほぼ一致した。この結果よりコンテナを反転して両面照射したときの  $D_{\max}/D_{\min}$  を求めると 2.5 であった。したがって、線源とコンテナとの距離を約 4 m 以上離せば、線量均一度 2.5 以内で照射できることが明らかとなった。205 cm の距離のときの  $D_{\max}/D_{\min}$  の値 3.0 よりも 398 cm のときの値の方が 2.5 と小さいのは、空間での線量の距離に対する減衰が線源から遠い距離ほどゆるやかになるためである。すなわち、コンテナを取り去ったとき線量は距離の逆 2 乗法則で減少するが、これがコンテナの存在下でも大きく影響していくことを示している。

つぎにコンテナへの馬鈴薯の詰め方の相違によって平均密度が異なることを考え、コンテナに馬鈴薯を最大限詰めた状態、すなわち最大密度  $0.75 \text{ g/cm}^3$  の場合について線源とコンテナ

との距離 39.8 cm における吸収線量分布を測定した。Fig. 5 は A ライン上における吸収線量分布を示したものである。コンテナ中の吸収線量の減衰は平均密度  $0.729/cm^3$  の場合にくらべかなり大きいことが認められ、反転照射における  $D_{max}/D_{min}$  は 2.8 となった。このときの  $D_{min}$  は Fig. 4 の深さ 50 cm における値に密度比  $0.75/0.72$  を乗じた実効深さ 5.2 cm での線量を基にしても推定できるが、これから推定される  $D_{max}/D_{min}$  は約 2.7 となり、実験誤差を考慮すれば実測値とだいたい一致している。

また、リニアライン方式のコンペアを想定した場合、コンテナの照射はコンテナが移動するにしたがい、斜め方向から多く行なわれることとなる。この斜め方向からの照射が線量均一度に及ぼす影響を調べるために、線源とコンテナ間の距離 39.8 cm の位置でコンテナを  $17.2^\circ$  回転した状態で照射を行ない、この時の吸収線量分布を Fig. 6 に示した。反転照射を行なう場合には、コンテナ後面の線量は前面に比較して無視し得るほど小さいので、ここでは奥行 50 cm までについて測定した。この結果、 $D_{max}/D_{min}$  の値は約 3.4 と大きくなることが認められ、斜め方向からの照射はコンテナ内の線量均一度を悪くする要素であることが実証された。

以上の結果、全体を通じて  $D_{max}/D_{min}$  の値は A, B, C の各ラインの間では有意性をもつほどの差異は見出されなかった。また、O 点での線量が特に小さくなる傾向も見られなかつた。これらのこととは、線源とコンテナの距離が十分大きい場合、単純な線量計算から得られる程度の小さな差異は実験誤差の範囲に含まれてしまうことを示している。

### 5.3.2 吸収線量測定値のバラツキについて

馬鈴薯を詰めたコンテナの吸収線量測定においては、水などの均一媒質中の線量測定の場合と比較して、測定値のバラツキが非常に高くなる。フリッケ線量計による測定では、つきの 2 つの原因が考えられる。

- 1) 被照射体がコンテナ内部で均一に分布していないために生じるバラツキ。
- 2) フリッケ線量計自身の測定誤差によるバラツキ。

このうち 1) に述べた原因是、馬鈴薯の詰めこみ密度がコンテナ内部で均一でないために生じるバラツキ (long range の効果) および個々の馬鈴薯がかなりの大きさをもつと同時に馬鈴薯と空隙が不均一に分散するために生じるバラツキ (short range の効果) の 2 つの要素より成ると考えられる。long range 効果によるバラツキは同じ深さ (試料奥行) の異った位置において現われるが、short range 効果によるバラツキは極く近傍に置かれた線量計相互の間でも現われる。これら両効果によるバラツキはフリッケ線量計自身による実験誤差と比較してかなり大きい。このことは吸収線量測定値のバラツキが空気中での測定値にくらべ、かなり大きいことから明らかである。したがって、信頼できる測定結果に近づけるためには測定回数を多くする必要がある。今回の繰り返し測定において、同じ場所での吸収線量のバラツキは平均値に対してほぼ 10% 以内であった。この 10% のバラツキは大部分被照射体の不均一分布に起因するもので、フリッケ線量計の測定誤差はほとんど問題にならない。これは下記ビルドアップ係数の経験式の決定においても同様である。

### 5.3.3 ビルドアップ係数の経験式の決定

コンテナ A ライン上の深さ  $t \text{ cm}$  における照射線量率  $\dot{X}_m$  は、点線源近似のもとで、一般に次式で与えられる。

$$\dot{X}_m = \frac{\Gamma S B(t)}{(d+t)^2} \exp(-\mu \rho t) \quad (5)$$

ここで、S は線源量 ( $\text{Ci}$ ) である。 $\dot{X}$  の実測値が既知の場合は(5)式を

$$B(t) = \frac{\dot{X}_m (d+t)^2 \exp(\mu \rho t)}{\Gamma S} \quad (6)$$

として逆に  $B(t)$  を求めることができる。 $r = 205 \text{ cm}$  に対する  $B(t)$  は、Fig. 3 に示した測定値に基づく吸収線量分布曲線を用いて(6)式から得られた。 $\Gamma S$  の値は  $B(0) = 1$  の仮定から、 $\Gamma S = \dot{X}_m r^{-2}$  で与えられた。これから  $B(t)$  の近似式として 3 次のべき函数、すなわち

$$B(t) = at^3 + bt^2 + ct + 1 \quad (7)$$

として与え、吸収線量分布曲線に最もよく適合するように各定数を求めると、 $a = 2.10 \times 10^{-6}$ ,  $b = -1.528 \times 10^{-4}$ ,  $c = 3.45 \times 10^{-2}$  となった。(7)式から得られた  $B(t)$  と吸収線量分布の実測値から得られた  $B(t)$  を Table 2 に示した。これによれば、両者の値は全範囲にわたって土 1% 以内でほぼ一致していることがわかる。

$r = 205 \text{ cm}$  に対する  $B(t)$  の経験式が  $r = 398 \text{ cm}$  の場合に対しても適用可能かどうか調べるため、(7)式から得た  $B(t)$  を(5)式に代入して求めた吸収線量分布と Fig. 4 の結果とを並べ Fig. 7 に示した。経験式をもとにした計算値(実線)は Fig. 4 の実測値と実験誤差の範囲内ではほぼ一致しているとみなすことができる。このことから(7)式として求めたビルドアップ係数の経験式は、Fig. 2 の幾何学的条件では、広範囲の  $r$ (線源とコンテナとの距離)に対し適用可能なものであることがわかった。したがって照射施設の概念設計においては上記の経験式を用いることとした。

### 5.3.4 ビルドアップ係数に関する考察

実験で求められたビルドアップ係数が今回の実験と類似の条件で得られている文献値といかなる相対関係にあるか比較および考察を行った。Fig. 8 は上に述べた経験式から求めたビルドアップ係数(A)と他の 2 つの文献値(B), (C)とを比較したものである。(B)の曲線は Goldstein および Wilkins<sup>7)</sup> が無限に広い平面線源の片側に半無限の媒質(水)が密着した幾何学的条件に対して、モメント法により計算を行った結果である。この場合、平面線源のもう一方の側に被照射体はないと仮定している。(C)の曲線は、Furuta ら<sup>8)</sup> が本実験と同様の幾何学的条件下で被照射体の後面に測定器を置き、被照射体の厚さを変えて実測した結果である。今回の実験の照射方法では線源と被照射体との距離が線源の幅にくらべ著しく大きいので、ほとんど平行なビームが被照射体に入射する。これに対し上記 Goldstein らの幾何学的条件では  $2\pi$  の角度方向から入射することとなり、ビルドアップ係数に及ぼす散乱線の寄与が大きくなる。このため(B)が(A)より大きくなっていると考えられる。なお Taylor<sup>9)</sup> の報告

では、無限媒質中に点線源を置いたと仮定して計算しているので、Goldstein らの値よりも大きなビルドアップ係数が得られている。また (A) が (j) より大きいのは、Furuta らの幾何学的条件の場合、測定器の後方に被照射体が存在しないため、ビルドアップ係数に及ぼす後方散乱の効果が含まれていないことに起因していると考えられる。以上の考察から本実験の照射方法に対して得られたビルドアップ係数は、他の文献地との相対的比較から十分妥当であることがわかった。

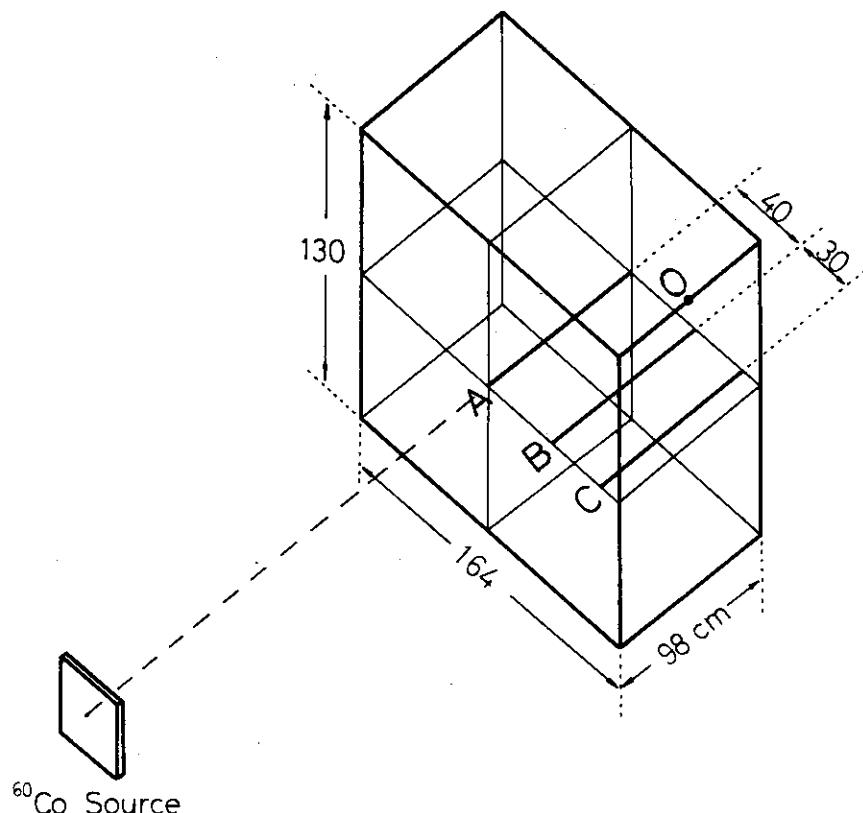


Fig. 2. Schematic Diagram of Irradiation Container

Table 2. Build-up Factor Obtained from Observed Value of Dose  
Distribution and Empirical Equation

Depth in sample (cm)	B (From observed value)	B (From emp. equation)
10	1.32	1.33
20	1.63	1.65
30	1.97	1.96
40	2.30	2.28
50	2.64	2.62
60	2.98	2.99
70	3.38	3.40
80	3.86	3.87
90	4.42	4.42
100	4.99	5.04

B : Build-up factor

Distance between source and container : 205 cm

JAERI-M 6000

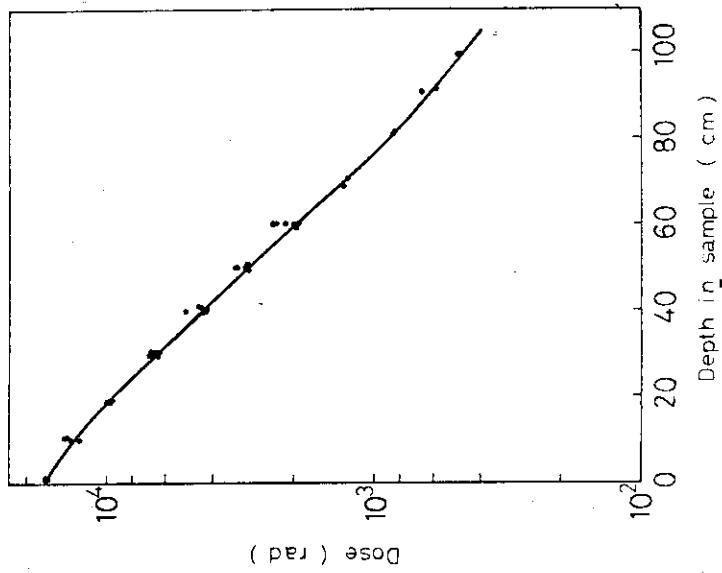


Fig. 5.

Dose Distribution on A-Line of Container with Potatoes  
Distance between source and container : 398cm  
Source :  $^{60}\text{Co}$  217,000Ci  
 $\rho$  : 0.75g/cm<sup>3</sup>

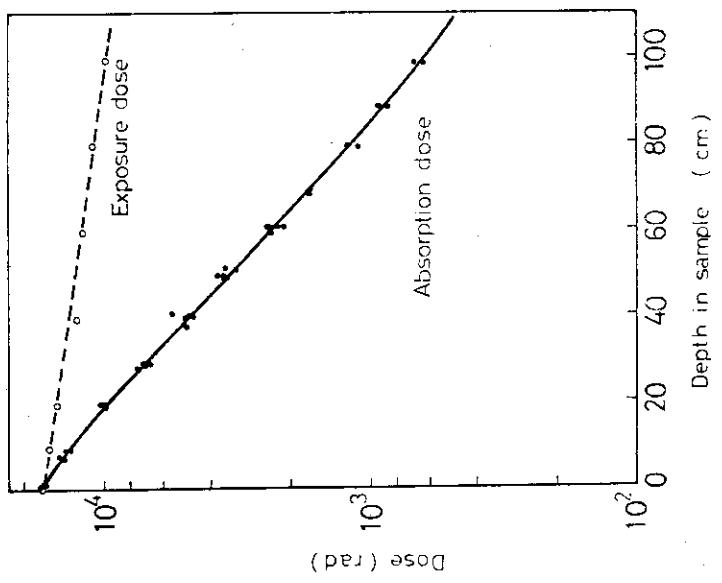


Fig. 4.

Dose Distribution on A-Line of Container with Potatoes  
Distance between source and container : 398cm  
Source :  $^{60}\text{Co}$  217,000Ci  
 $\rho$  : 0.72g/cm<sup>3</sup>

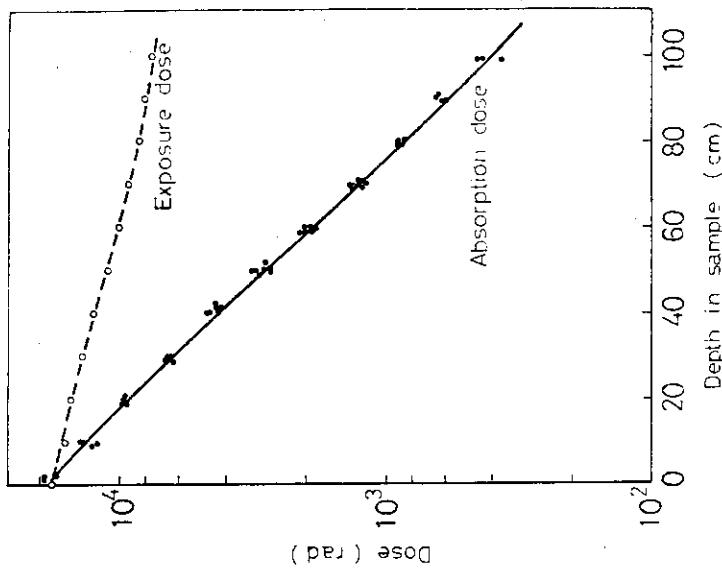
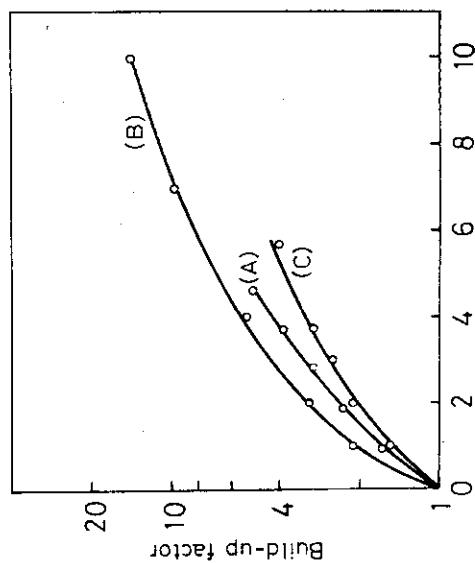


Fig. 3.

Dose Distribution on A-Line of Container with Potatoes  
Distance between source and container : 235cm  
Source :  $^{60}\text{Co}$  62,500Ci  
 $\rho$  : 0.72g/cm<sup>3</sup>

JAERI-M 6000



Distance between source and container : 398cm  
 Rotation angle of container :  $17.2^\circ$   
 Source :  $^{60}\text{Co}$  217,000Ci  
 $f = 0.75\text{g/cm}^3$

Fig. 6. Dose Distribution on A-line of Container with Potatoes

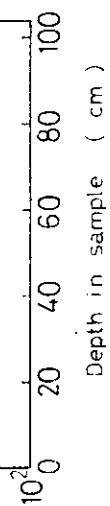


Fig. 7. Dose Distribution Obtained from Empirical Equation on A-line of Container with Potatoes

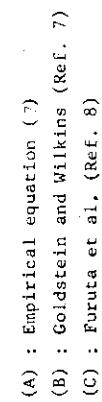


Fig. 8. Comparison of Build-up Factors

## 6. 線量分布計算による照射方式の検討

5章でビルドアップ係数の経験式が求められ、本照射施設の概念設計に適用できることわかった。そこで、考えられる種々の照射方式について照射線量分布計算を行ない、所定の試料容器(内法)幅98×164×高130cm, 处理量10,000ton/月, 線量範囲6~15kradを満足する最も効率的かつ実現可能な照射方式を検討した。

### 6.1 定置照射

馬鈴薯を詰めた大型コンテナ中の照射線量分布の計算を進めるにあたって、まず容器を固定した場合(定置照射)について計算を行った。

#### 6.1.1 計算方法

線源の形状が点状、線状および面状のそれぞれの場合について行ない、コンテナの両面から照射するものとする。

点状線源(Point source)の場合には、Fig. 9 a に示すように、試料コンテナの表面から、 $d$ (cm)離れた点Qに100kCiの線源を置いたと仮定し、 $d$ をパラメータにして試料内の中心線Aライン上および端部Cライン上の照射線量分布を計算した。5章の実験結果から(7)式のビルドアップ係数はFig. 9 a のCラインに対してもAライン同様そのまま適用できると仮定した。

線状線源(Line source)の場合には、Fig. 9 b に示すように、長さ120cmの100kCi線源について計算を行った。120cm長さの線源を24分割し、5cm間隔の点状線源が分布しているものとして取扱った。

面状線源(Plane source)の場合には、Fig. 9 c に示すように $170 \times 130$ cmの100kCi線源について、同様の計算を行なった。面状線源は $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ を一単位とする884個の点線源群に分割して計算を行なった。

#### 6.1.2 計算結果

点状、線状および面状の各線源によってAライン上の試料コンテナ表面 $A_s$ 、中心点 $A_0$ およびCライン上の中心点 $C_0$ において得られる線量率をTable 3 に示す。 $d$ が大きくなると線量率は線源の形状にあまり依存しなくなる。 $A_s$ での線量率は試料全体の最大値を示す。線量率の最小値はAライン上では $A_0$ で得られ、試料全体では $C_0$ で得られる。これよりAライン上の線量均一度(最大線量と最小線量の比) $\alpha_A$ と試料全体についての線量均一度 $\alpha_C$ が与えられる。実測では5.3.1で述べたように $A_0$ と $C_0$ における線量は等しいという結果が出ており、線量均一度は実際には $\alpha_A$ で近似してよいものと考えられる。 $\alpha_A$ ,  $\alpha_C$ の値をTable 3 に示す。線量均一度は試料が線源から離れるにつれて急激に良くなるが、距離が遠くなると変化は少なくなる。

### 6.1.3 試料容器厚さの効果

本照射施設の設計においては、試料の厚さを 100 cm にして検討を進めているが、試料の厚さがどの程度影響するか一応検討しておく必要がある。Fig.10 は厚さを 100 cm, 80 cm, 60 cm にとった時の A ライン上の線量率分布の変化を示す。この結果から試料の厚さは線量均一度に著しく依存することがわかる。

## 6.2 リニアラインコンペアによる照射

実際に馬鈴薯の大量照射を行なう場合、3 章で述べたように、コンペアを用いて試料を移動させながら照射する形態をとる必要がある。そこで、馬鈴薯の搬送が可能な種々のコンペアの形式を考え、各照射方式についての線量率分布を計算した。線源形状は長さ 120 cm で 100 k Ci の線状線源の場合について行なった。

### 6.2.1 1 段式リニアライン方式

この方式は Fig.11 に示すように線状線源の両側にリニアラインコンペアを設置し、一方のコンペアラインでコンテナの片側から照射した後、もう一方のラインに平行移動して反対側を照射し、往復で両面照射するようにしたものである。計算の単純化のために線状線源を仮定した。コンペアの移動方向に線源がある程度幅をもついても、コンペアラインが十分に長い場合は線量分布にはほとんど影響を与えない。

#### i) 計算方法

Fig.9(a) のコンテナの B ライン上の線量均一度を  $\alpha_B$  とすると、Fig.11 のようなりニアライン上の移動照射では、B ラインと C ラインは幾何学的に同等となり、 $\alpha_C = \alpha_B$  とみなすことができる。また  $\alpha_B$  は  $\alpha_A$  に実質的に等しいので、試料全体の線量均一度は  $\alpha_A$  によって近似できる。

計算は線源と試料表面との距離  $d$  をパラメータにして、400~600 cm の間で 50 cm 間隔ごとに行なった。コンペアの移動速度は 20 cm/min と仮定した。

#### ii) 計算結果

線源へ最短距離の位置から試料がコンペアラインに沿って移動していくにつれて、試料コンテナの A ライン上の  $A_0$  の線量率は Fig.12 に示すように減少していく。ここで試料は両面から照射を行なうものとしている。

リニアライン照射方式の場合、線源へ最短距離の位置で試料中の  $\gamma$  線の透過距離が最小になるため、線量均一度は最もよいが、試料がこの位置から離れるにつれて斜め入射の増加のため、線量均一度は次第に悪くなる。したがって所定の線量均一度におさめるためには、線量均一度の悪い位置で照射を受けないように Fig.13 に示すような斜め入射成分をカットする遮蔽材が必要となる。遮蔽材を設けることによって試料が照射を受けるコンペア上の走行距離（照射有効幅）は限定される。Fig.14 は照射有効幅  $w$  と線量均一度  $\alpha_A$  の関係を示している。 $w$  が大きい方が試料が受ける線量は大きくなるが、線量均一度が落ちることがわかる。

設計の上限である線量均一度 2.5 を満すような  $d$ ,  $w$ ,  $\alpha_A$  および  $A_0$  における線量  $X_{A_0}$  を Table 4 に示す。  $X_{A_0}$  の値から 1 カ月 10,000 ton の馬鈴薯を処理するのに必要な線源量  $S_n$

JAERI-M 6000

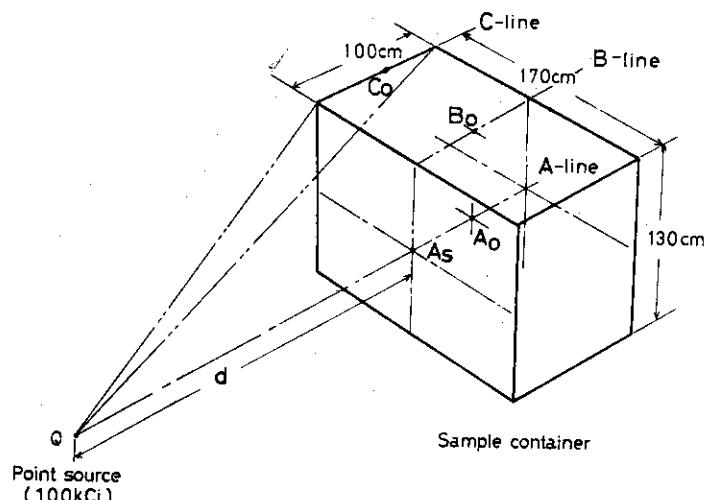


Fig. 9. Calculation Model

(a) Point Source

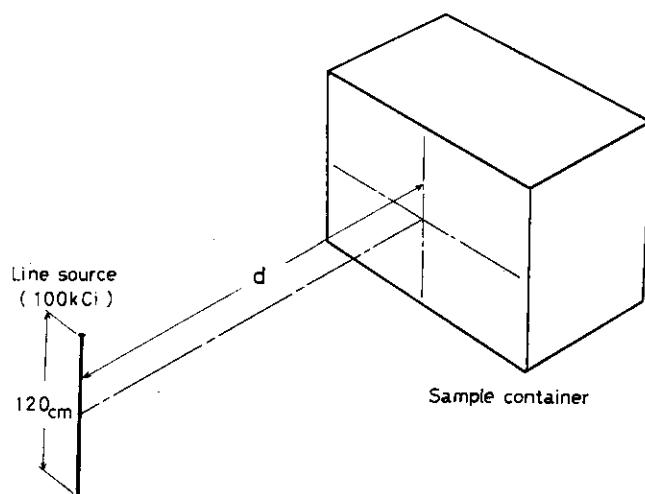


Fig. 9. Calculation Model

(b) Line Source

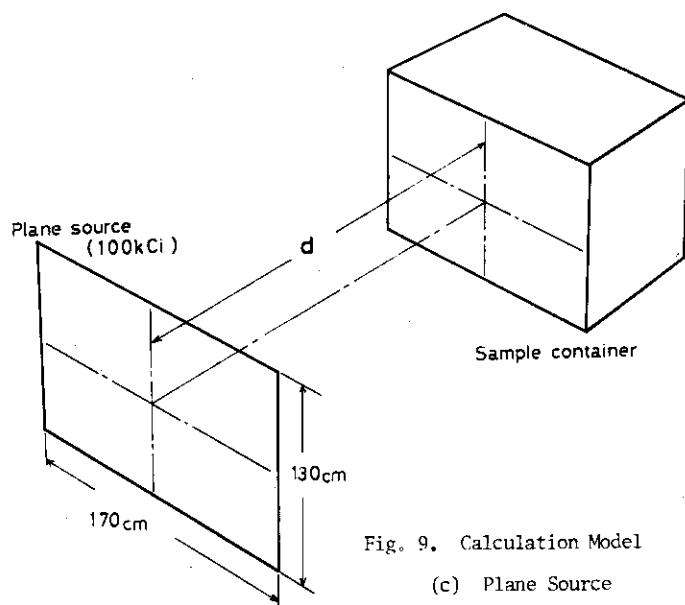


Fig. 9. Calculation Model

(c) Plane Source

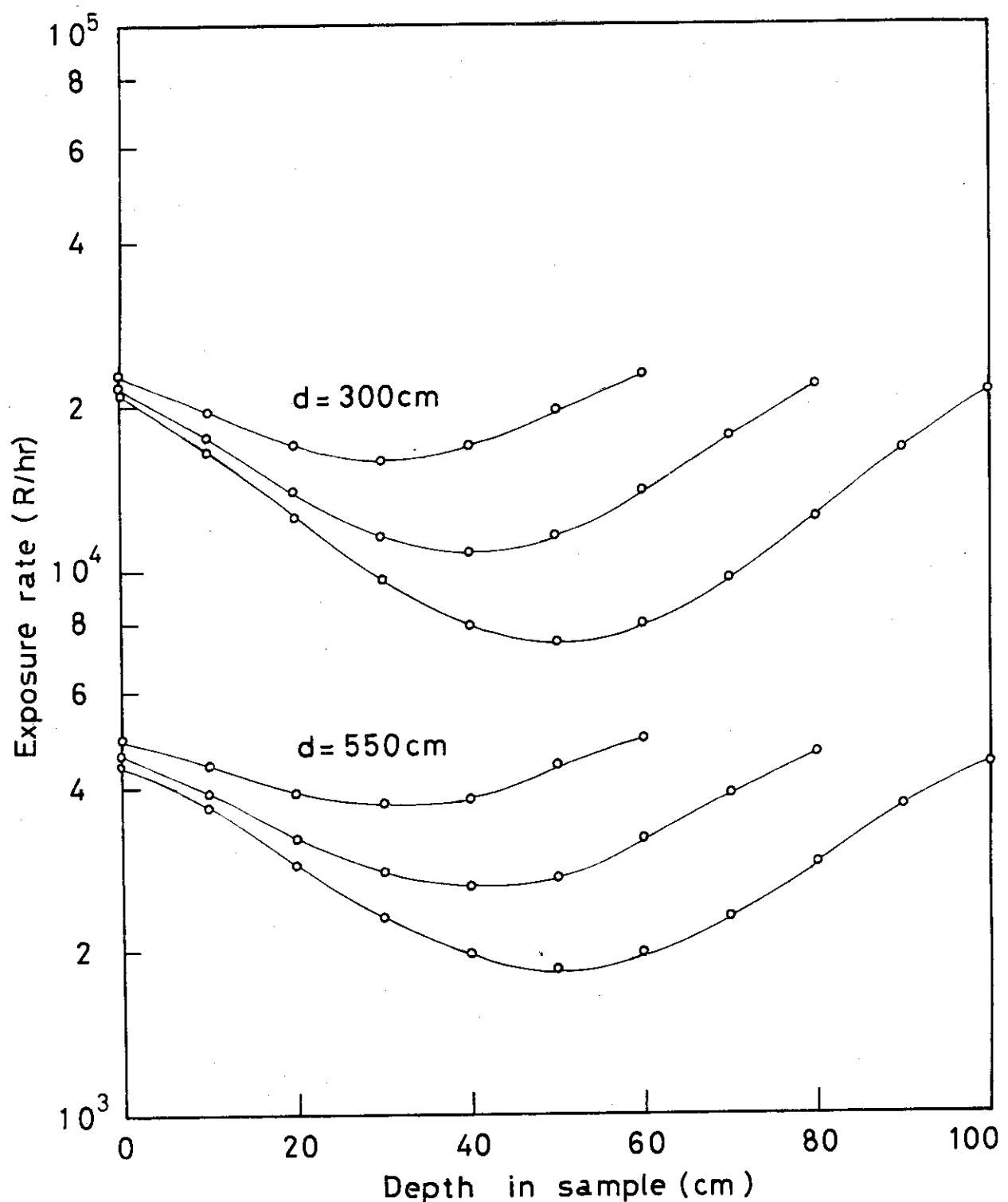


Fig.10 Distribution of Exposure Rate in the Samples with Various Thickness

## JAERI-M 6000

Table 3. Exposure Rate at the Points As, Ao and Co in Fig. 9 and Dose Uniformity,  $\alpha_A$  and  $\alpha_C$ .

## (a) Point Source

d (cm)	Exposure Rate (R/hr) at			Dose Uniformity	
	As	Ao	Co	$\alpha_A$	$\alpha_C$
50	$5.52 \times 10^5$	$6.74 \times 10^4$	$1.46 \times 10^4$	8.20	37.91
100	$1.32 \times 10^5$	$3.00 \times 10^4$	$1.36 \times 10^4$	4.39	12.53
150	$5.88 \times 10^4$	$1.69 \times 10^4$	$1.05 \times 10^4$	3.49	7.45
200	$3.32 \times 10^4$	$1.08 \times 10^4$	$7.89 \times 10^3$	3.08	4.21
250	$2.13 \times 10^4$	$7.49 \times 10^3$	$6.01 \times 10^3$	2.85	3.55
300	$1.48 \times 10^4$	$5.50 \times 10^3$	$4.67 \times 10^3$	2.70	3.18
350	$1.09 \times 10^4$	$4.21 \times 10^3$	$3.71 \times 10^3$	2.59	2.95
400	$8.38 \times 10^3$	$3.32 \times 10^3$	$3.01 \times 10^3$	2.52	2.79
450	$6.63 \times 10^3$	$2.70 \times 10^3$	$2.48 \times 10^3$	2.46	2.67
500	$5.34 \times 10^3$	$2.23 \times 10^3$	$2.08 \times 10^3$	2.41	2.58

## (b) Line Source

d (cm)	Exposure Rate (R/hr) at			Dose Uniformity	
	As	Ao	Co	$\alpha_A$	$\alpha_C$
50	$3.85 \times 10^5$	$5.61 \times 10^4$	$1.54 \times 10^4$	6.86	24.92
100	$1.19 \times 10^5$	$2.74 \times 10^4$	$1.38 \times 10^4$	4.33	8.64
150	$5.60 \times 10^4$	$1.60 \times 10^4$	$1.05 \times 10^4$	3.50	5.34
200	$3.25 \times 10^4$	$1.04 \times 10^4$	$7.85 \times 10^3$	3.10	4.11
250	$2.09 \times 10^4$	$7.32 \times 10^3$	$5.97 \times 10^3$	2.86	3.50
300	$1.47 \times 10^4$	$5.41 \times 10^3$	$4.65 \times 10^3$	2.71	3.15
350	$1.08 \times 10^4$	$4.16 \times 10^3$	$3.70 \times 10^3$	2.60	2.93
400	$8.32 \times 10^3$	$3.29 \times 10^3$	$3.00 \times 10^3$	2.53	2.78
450	$6.59 \times 10^3$	$2.67 \times 10^3$	$2.48 \times 10^3$	2.47	2.66
500	$5.35 \times 10^3$	$2.21 \times 10^3$	$2.08 \times 10^3$	2.42	2.58

## (c) Plane Source

d (cm)	Exposure Rate (R/hr) at			Dose Uniformity	
	As	Ao	Co	$\alpha_A$	$\alpha_C$
50	$2.48 \times 10^5$	$4.01 \times 10^4$	$1.74 \times 10^4$	6.18	14.22
100	$9.89 \times 10^4$	$2.30 \times 10^4$	$1.34 \times 10^4$	4.30	7.39
150	$5.09 \times 10^4$	$1.44 \times 10^4$	$9.97 \times 10^3$	3.53	5.10
200	$3.05 \times 10^4$	$9.73 \times 10^3$	$7.49 \times 10^3$	3.13	4.07
250	$2.01 \times 10^4$	$6.96 \times 10^3$	$5.74 \times 10^3$	2.89	3.51
300	$1.43 \times 10^4$	$5.21 \times 10^3$	$4.50 \times 10^3$	2.73	3.17
350	$1.06 \times 10^4$	$4.04 \times 10^3$	$3.60 \times 10^3$	2.62	2.95
400	$8.19 \times 10^3$	$3.22 \times 10^3$	$2.93 \times 10^3$	2.54	2.79
450	$6.51 \times 10^3$	$2.63 \times 10^3$	$2.43 \times 10^3$	2.48	2.68
500	$5.30 \times 10^3$	$2.18 \times 10^3$	$2.04 \times 10^3$	2.43	2.60

(Ci)は次のように計算できる。照射施設を1日24時間稼動するとすれば、1時間当たりの必要処理量は13.9 ton/Ciとなる。コンテナ1個に入る試料の重量は1.5 tonであるから1時間当たり9.26ケース処理する必要がある。試料コンテナの移動方向長さは170cmであり、移動時のコンテナ間の間隙を10cmと仮定すれば、必要なコンベア速度は16.7m/hr、すなわち27.8cm/minとなる。ここでの設計計算の前提として線源量100kCi、コンベア速度20cm/minを基準としていることから、Sn(Ci)は最小許容線量を6kCiとすると

$$S_n = 10^5 \times \frac{27.8}{20} \times \frac{6000}{X_{A_0}} \quad (8)$$

と求められる。Table 4にSnの値を示してある。

線源と試料コンテナ表面の距離dが400cm以下では照射有効幅wをいかに小さくしても $\alpha_A$ を2.5以下におさえられない。また大きくすると、wを大きくとれるのでFig.15に示すようにSnは減少していくが、d=600cm付近ではそれ以上の減少は見られなくなる。

### III) 試料密度の効果

計算結果は試料のみかけの密度が0.72g/cm<sup>3</sup>と仮定して得られたが、この密度は3章で述べたように、馬鈴薯の収穫時期や馬鈴薯の種類あるいはコンテナへの詰め方などにより変化する。密度0.70~0.74g/cm<sup>3</sup>の範囲で照射有効幅w、必要線源量Snがどの程度変化するか調べてみた。dは前項の計算結果よりSnが最小になる600cmの一定値とした。Table 5に $d_A = 2.5$ を満すための密度とwおよびSnとの関係を示した。この結果は馬鈴薯のみかけ密度が増加すると必要線源量が急激に増加することを示している。

以上の結果から、1段式リニアラインコンベア照射において試料の密度が0.72g/cm<sup>3</sup>より大きい場合には、1) 照射有効幅を狭くする(d=一定の場合)、あるいは2) 線源と試料間の距離を大きくする(w=一定の場合)のどちらかにより線量均一度を一定に保つことができるが、当然線源量(Ci)の増加が必要になってくる。

#### 6.2.2 2段式および3段式リニアライン方式

1段式リニアライン方式では、 $\alpha_A$ を2.5以内におさめるためには100万Ciという大量の線源が必要になることがわかった。そこで、コンベアラインを2段あるいは3段として線源利用効率を高めることにより、必要線源量Snを少なくすることを検討した。

##### I) 2段式リニアライン方式

Fig.16aに示すように線源の両側に2段ずつのコンベアラインを設置し、試料コンテナをこの4つのラインを順次移送させることによって両面照射を行なうものである。2段式の場合はFig.16bに示すようなAおよびCラインを考え、Fig.9(a)のAsにおける線量とC<sub>0</sub>/ICにおける線量との比 $\alpha_C = X_{A_S}/X_{C_0}$ によって試料全体の線量均一度を算出した。その他の計算方法は1段式ライン照射と同様である。

d=700cmの場合の $\alpha_C=2.5$ を満すw、X<sub>A\_S</sub>、X<sub>C\_0</sub>、 $\alpha_C$ およびSnをTable 6に示す。dが600cm以下ではwをいかに小さくしても $\alpha_C$ を2.5以下におさえることは不可能であった。

##### II) 3段式リニアライン方式

3段式リニアライン方式はFig.17 aに示すように、線源の両側の1段式ライン(メインライン)の上下に附加的ライン(サブライン)を設置して線源の利用効率を高くしようとしたものである。メインラインについてはすでに1段式ライン方式で計算した諸値を使用する。サブラインについては斜め上下方向からの入射があるので、線源を同一レベルに位置するコンペアと同じ線量均一度を保持するためにはFig.17 bに示すように線源とサブライン上の試料との距離 $d_2$ を、線源とメインライン上の試料との距離 $d_1$ より大きくとる必要がある。

サブラインについては、 $\alpha_C = 2.5$ を満す $d_2$ ,  $w$ , および $C_0$ における線量 $\lambda_{C_0}$ を計算した。

メインラインに対しては1段式(6.2.1参照)における計算結果を用いた。必要線源量 $S_n$ はメインおよびサブラインに対する最小線量の和から算出した。

サブラインについて $d_2 = 900\text{cm}$ の場合の結果をTable 7に示す。 $d_2 = 800\text{cm}$ では $\alpha_C$ は2.50をこえる。この結果と1段式(6.2.1参照)で得られたメインラインの結果とを合わせた全行程の諸値をTable 8に示す。

### 6.2.3 リニアラインコンペア方式の検討

1段式, 2段式および3段式のリニアライン方式について計算を行なった結果、照射処理量 $1,000\text{ton}/\text{月}$ 、試料内の線量均一度2.5以下という条件を満足するのに必要な線源量 $S_n$ は1段式で $992,000\text{Ci}$ , 2段式で $929,000\text{Ci}$ , 3段式で $545,800\text{Ci}$ となった。2段式あるいは3段式でも $S_n$ を大幅に減らすことはできないことがわかった。

リニアライン方式では、照射有効幅を大きくすると照射処理量は増加するが、斜め入射成分の影響で線量均一度は悪くなる。したがって、照射処理量一定の条件では、線量均一度をよくするために、 $S_n$ を大きくする以外方法がないと結論される。そこで、この問題点を解決するためには照射有効幅が大きく、かつ線量均一度がよい照射方法として、線源に試料コンテナが常に正対しているような条件、すなわち線源を中心とした円周ライン上を試料が移動するサークルラインコンペア方式を検討した。

## 6.3 サークルラインコンペアによる照射

サークルライン方式はFig.18 aに示すように線源を中心とした円周ライン上を試料が移動する照射方式で、両面照射するためにはサークルを一周した後、試料を反転してもう一度一周する必要がある。

### 6.3.1 計算方法

線源をFig.18 aのように円筒状に配置した場合、各線源( $S_1 \sim S_8$ )からの試料に対する線量の寄与は、試料が線源円筒のまわりを一周すると仮定すれば、 $S_1 \sim S_8$ のうちのどれか1つの線源位置に全線源量が集約されたものとして計算することができる。線状線源を円筒状に配置したのは、線量均一度および照射処理量に多少の自由度をえるために、線源円筒の半径 $r_2$ の可変性を考慮したためである。

$r_2 = 0$ では定置照射の場合と全く等価になる。

試料が線源のまわりを1周した時に受ける試料の深さ $t(\text{cm})$ の位置での(Fig.18 b参照)

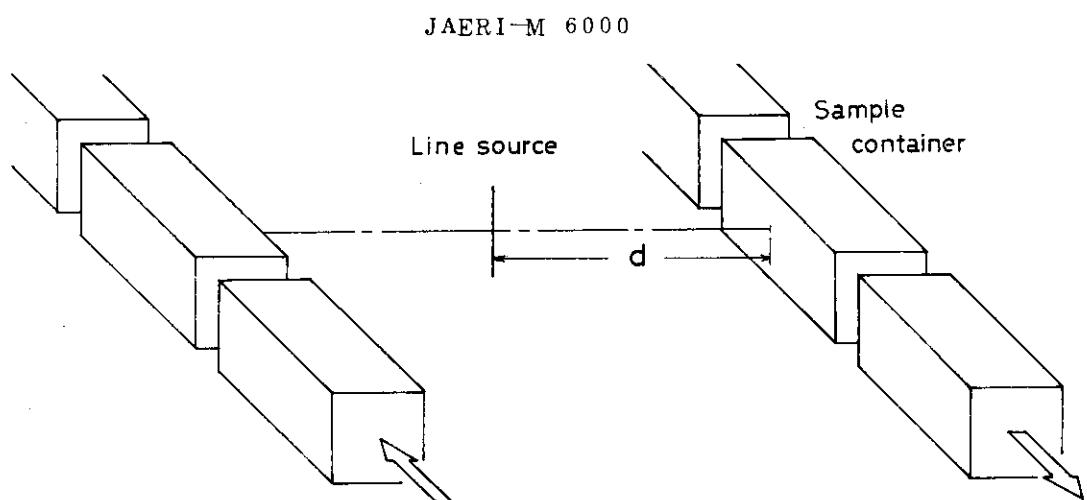


Fig. 11 Schematic Diagram of the Single Straight-Line Conveyor System.

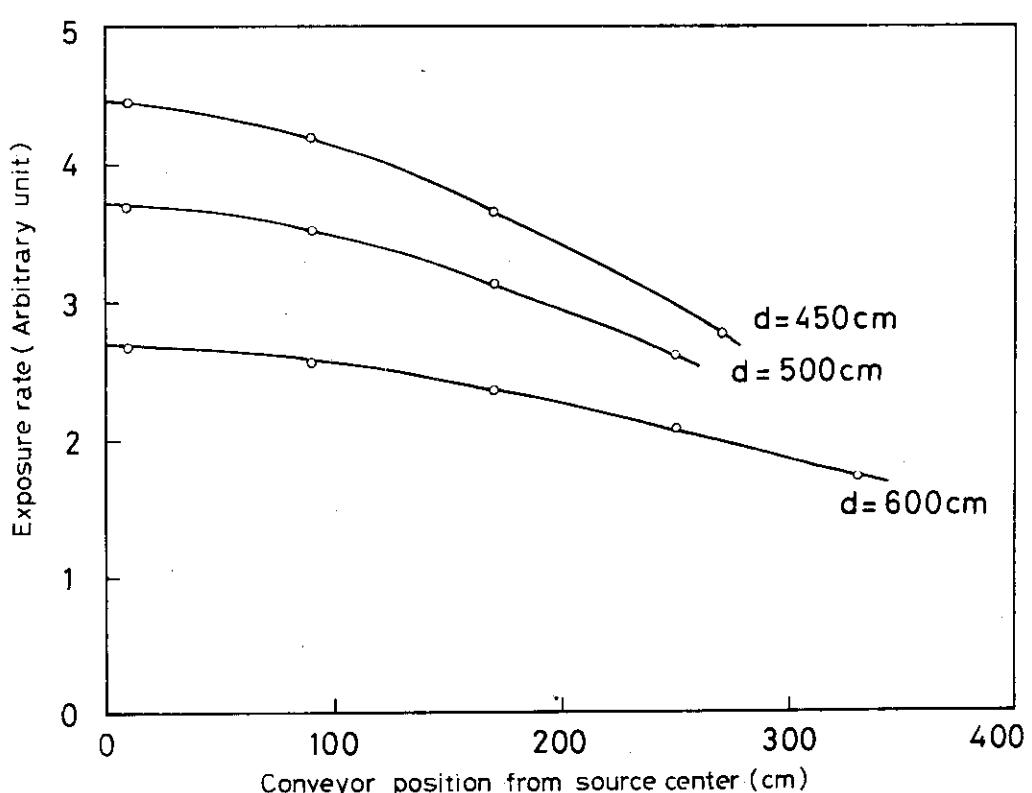


Fig. 12 Exposure Rate Distribution along the Conveyor Line.

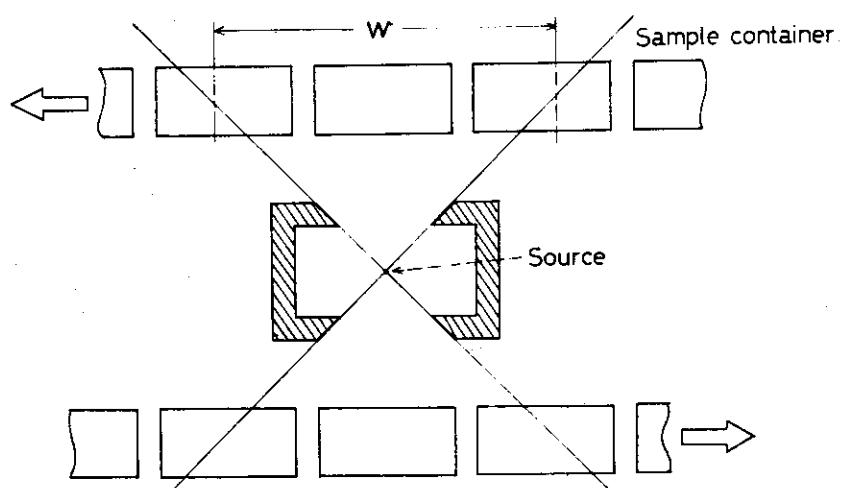


Fig. 13 Effective Irradiation Width for the Straight-Line Conveyor System.

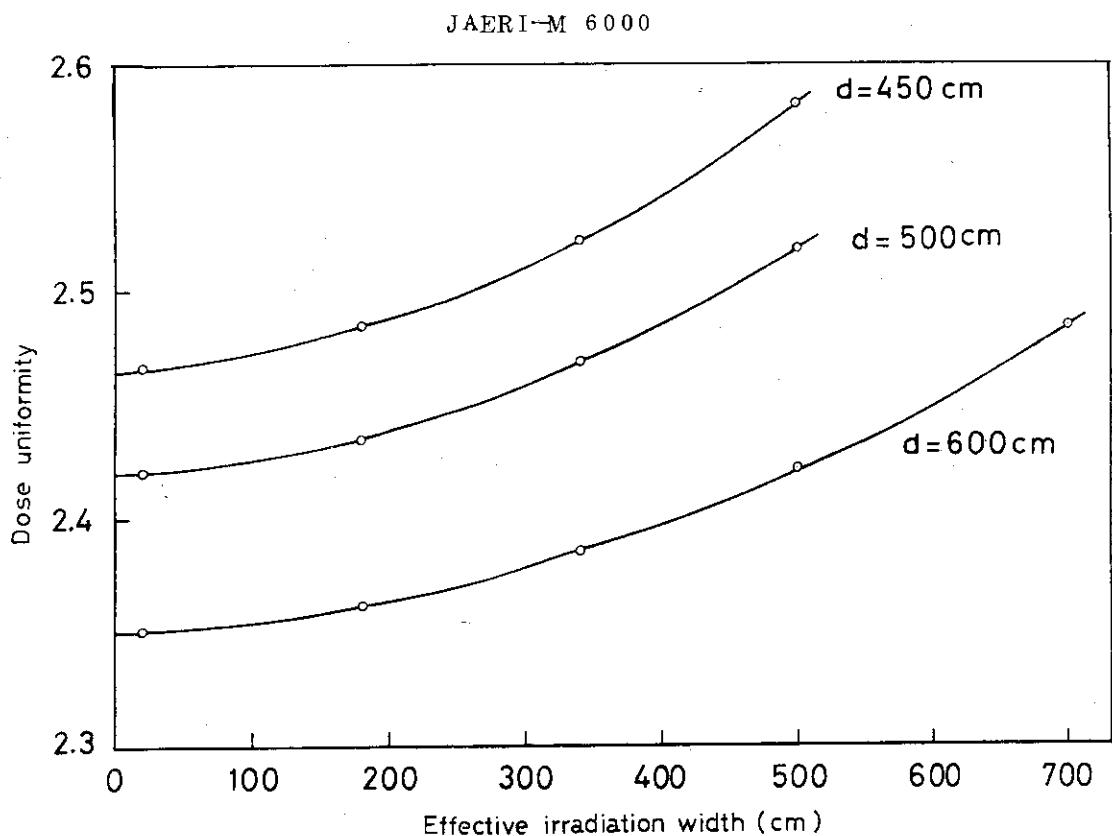


Fig. 14 Dose Uniformity,  $\Omega_A$ , as a Function of Effective Irradiation Width,  $w$ .

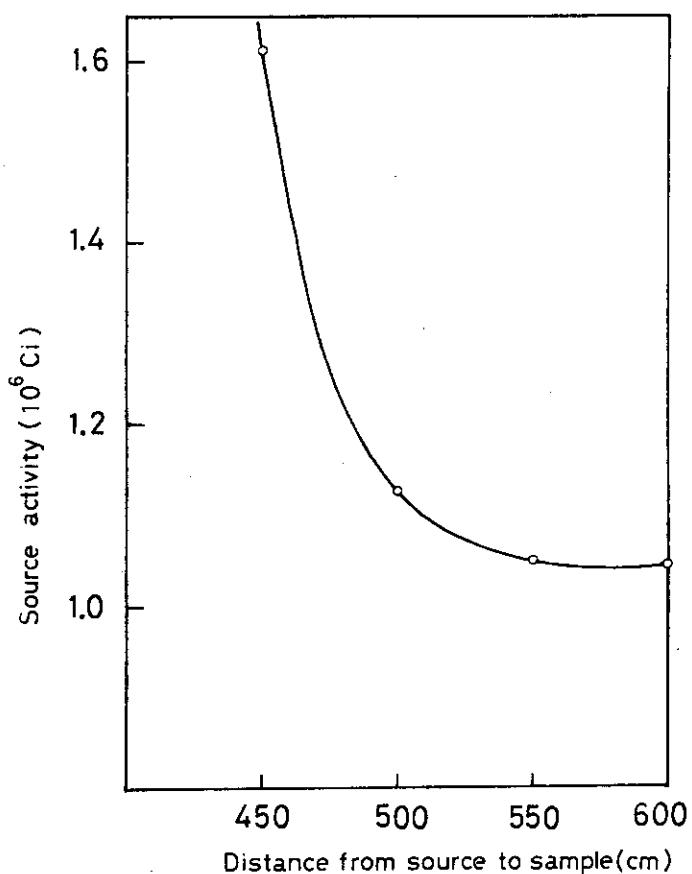


Fig. 15 Required Source Activity as a Function of the Distance from Source to Sample.

## JAERI-M 6000

Table 4. Calculated Results for the Single Straight-Line Conveyor System.

d (cm)	w (cm)	$\alpha_A$	$X_{A0}$ (R)	Sn (kCi)
450	220	2.49	$5.17 \times 10^2$	1613
500	420	2.49	$7.42 \times 10^2$	1125
550	580	2.49	$8.13 \times 10^2$	1026
600	740	2.50	$8.40 \times 10^2$	992

Table 5. Effect of Sample Density on the Required Source Activity, Sn, and the Effective Irradiation Width, w, in the Single Straight-Line Conveyor System when  $\alpha_A = 2.50$  and d=600cm.

c (g/cm <sup>3</sup> )	w (cm)	$X_{A0}$ (R)	Sn (kCi)
0.70	1020	$1.07 \times 10^3$	782
0.71	900	$9.73 \times 10^2$	857
0.72	740	$8.41 \times 10^2$	992
0.73	580	$6.90 \times 10^2$	1210
0.74	380	$4.78 \times 10^2$	1743

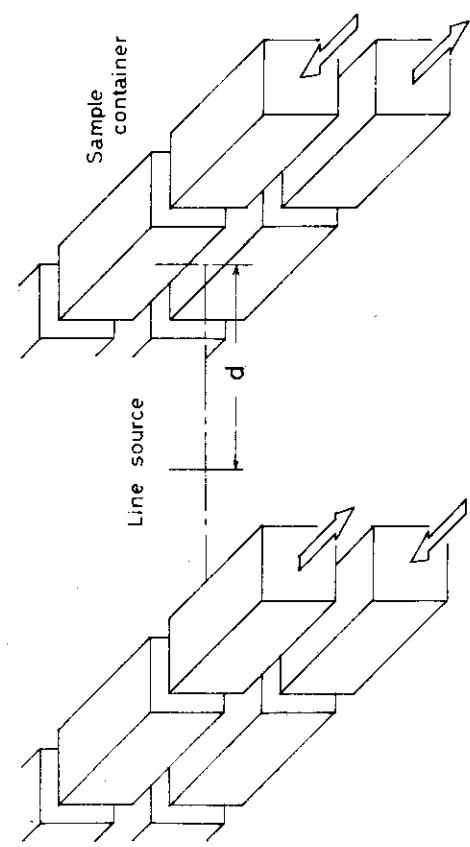


Fig. 16 Double Straight-Line Conveyor System.  
(a) Schematic Diagram

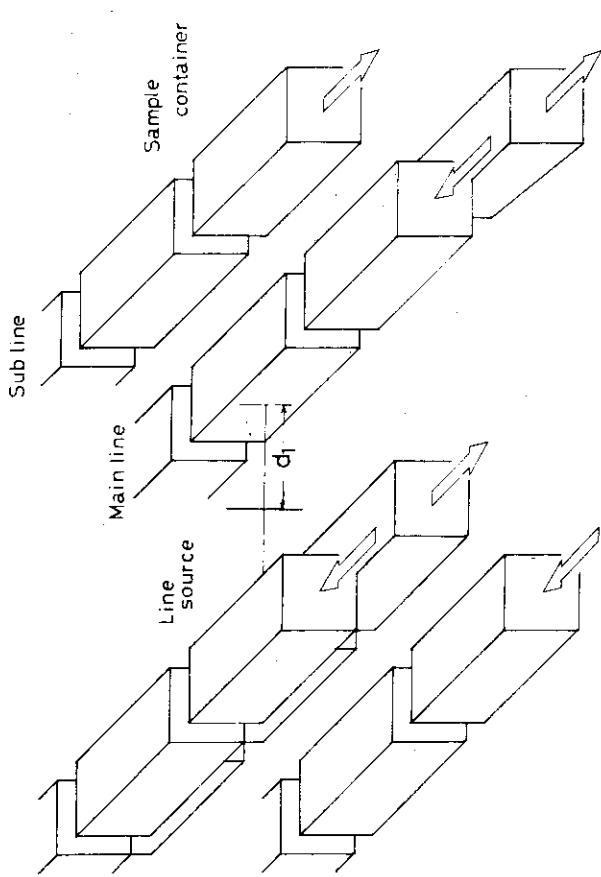


Fig. 17 Triple Straight-Line Conveyor System  
(a) Schematic Diagram

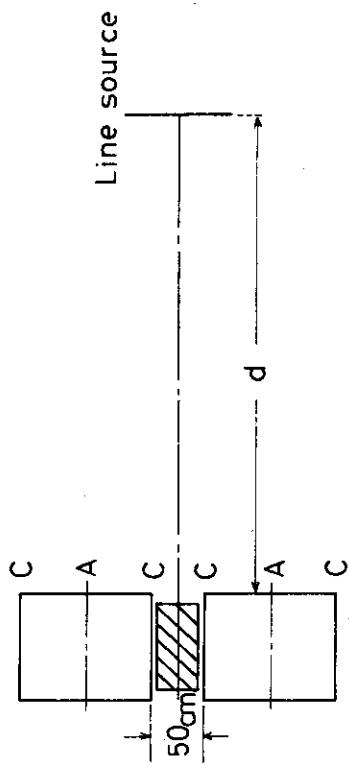


Fig. 16. Schematic Diagram of the Single Straight-Line Conveyor System.  
(b) Calculation Model

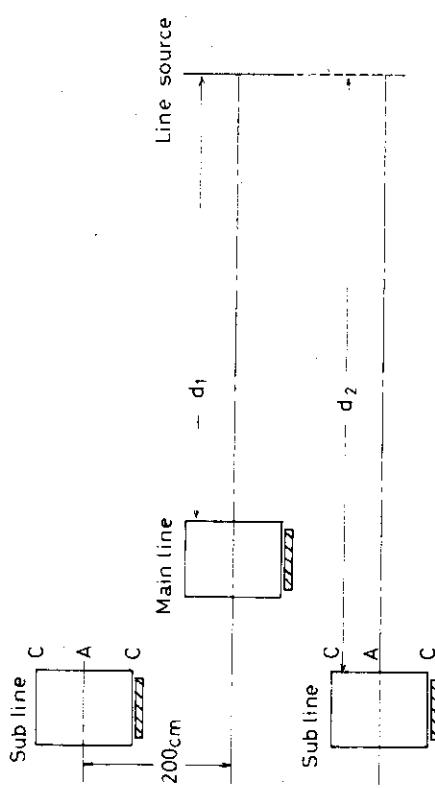


Fig. 17. Triple Straight-Line Conveyor System.  
(b) Calculation Model

## JAERI-M 6000

Table 6. Calculated Results for the Double Straight-Line Conveyor System when  $d=700\text{cm}$ .

w (cm)	$X_{As}$ (R)	$X_{Co}$ (R)	$\alpha_C$	Sn (kCi)
540	$2.40 \times 10^3$	$9.57 \times 10^2$	2.50	
500	$2.24 \times 10^3$	$8.98 \times 10^2$	2.50	929
340	$1.59 \times 10^3$	$6.43 \times 10^2$	2.47	1297
220	$1.07 \times 10^3$	$4.37 \times 10^2$	2.45	1913
100	$5.39 \times 10^2$	$2.21 \times 10^2$	2.44	
10	$1.80 \times 10^2$	$7.38 \times 10^1$	2.44	

Table 7. Calculated Results for the Sub-Line of the Triple Straight-Line Conveyor System when  $d_2=900\text{cm}$ .

w (cm)	$X_{As}$ (R)	$X_{Co}$ (R)	$\alpha_C$
220	$6.31 \times 10^2$	$2.58 \times 10^2$	2.45
420	$1.14 \times 10^3$	$4.63 \times 10^2$	2.46
620	$1.63 \times 10^3$	$6.52 \times 10^2$	2.49
660	$1.72 \times 10^3$	$6.88 \times 10^2$	2.50

Table 8. Calculation Results for the Triple Straight-Line Conveyor System.

	d (cm)	w (cm)	X (R)	$\alpha$	Sn (kCi)
Main Line	600	740	$8.41 \times 10^2$	2.50	
Sub Line	900	660	$6.88 \times 10^2$	2.50	
Total			$1.53 \times 10^3$	2.50	546

全線量  $X_{\text{total}}(R)$  は、縦方向の長さ  $L$  の線状線源に対して

$$X_{\text{total}} = \int_0^L \frac{2\pi}{d} \frac{2\Gamma S b(t) \exp(-\mu\rho t)}{d + t)^2 + d_s^2 - 2(d + t)d_s \cos(\frac{\pi - \theta}{2}) + \ell^2} d\theta \alpha_\ell \quad (9)$$

となる。ここで  $S$  は単位長さあたりの線源量 ( $\text{Ci}/\text{cm}$ ) であり、線源の中心はコンテナーの中心と同レベルにあるとする。

数値積分は 1 周を 60 分割し、線源 (120 cm 長) を 24 分割して実行された。線量均一度は A ライン上の試料表面線量  $X_{\text{AS}}$  と中心線量の  $X_A$  の比、すなわち  $\alpha_A$  で求めた。

サークルライン方式では、線源と試料の相対位置は常に一定であるため、定置照射の場合と同様、計算上は  $A_0$  と  $C_0$  における線量は多少異なる。しかし実測値では  $C_0$  での線量は  $A_0$  での線量に等しいため (5.3.1 参照)，線量均一度は  $\alpha_A$  で近似してよいものと考えられる。

### 6.3.2 計算結果

$S_n = 100 \text{ kCi}$  とし、試料は線源のまわりを 2 周して、両面照射をうけるものとして計算を行なった。必要線源量  $S_n(\text{Ci})$  は

$$S_n = 2 \times 10^5 \times \frac{265.6}{r} \times \frac{6000}{X_{A0}} \quad (10)$$

によって計算される。 $r_2 = 0$  の場合、 $r_1$  と  $\alpha_A$  の関係は Fig. 10 から求めることができる。すなわち、 $r_1 = 450 \text{ cm}$  ならば  $\alpha_A \leq 2.5$  を満足する。 $r_1$  を  $450 \text{ cm}$  固定して、 $r_2 = 0.50, 100 (\text{cm})$  での  $\alpha_A$  および  $S_n$  の計算結果を Table 9 に示す。リニアライン方式では 3 段式でも  $500 \text{ kCi}$  以上の線源量を必要としたのにくらべると、この結果はサークルライン方式の方がはるかに有利であることを示している。

### 6.3.3 試料密度の効果

試料密度を  $0.70 \sim 0.74 \text{ g/cm}^3$  の範囲で変えた時の  $r_2 = 0$  のもとで、 $\alpha_A \leq 2.5$  を満たすための  $r_1$  と  $S_n$  を Table 10 に示す。また、比較のために  $r_1 = 450 \text{ cm}, r_2 = 100 \text{ cm}$  としたときの密度  $\rho$  と  $\alpha_A$  との関係を Table 11 に示す。

Fig. 19 は 1 段式リニアライン方式とサークルライン方式について  $\alpha_A = 2.50$  を満たすための試料密度と  $S_n$  の相対値の関係を表わしたものである。サークルライン方式は、リニアライン方式に比較して密度による  $S_n$  の変化が少なく、特に  $0.72 \text{ g/cm}^3$  以上での  $S_n$  の急激な増加は認められない。

## 6.4 照射方式に関する考察

### 6.4.1 各照射方式の比較

以上の各照射方式について線量分布計算から検討した結果を Table 12 にまとめた。所定の線量範囲内におさめるためにはリニアライン方式ではサークルライン方式にくらべて多くの線

源量が必要なことがわかる。

リニアライン方式では3段式にすれば必要線源量をある程度減らすことができるが、実際問題として、1段式の場合よりも大きな照射室が必要となること、およびコンベア機構が複雑となるため運転の安定性保持に因る構造上高い精度が要求されるなど、経済的、技術的な面においても問題が生じる。

本計算において線源は長さ120cmの線状線源を仮定した。しかし、実際の照射では、線源自身の容積、カブセリング材質および線源を支える構造物などによる吸収損失を考える必要がある。特にサークルライン方式では線源円筒自身による吸収損失が大きいと考えられる。したがって、実際にはTable 12のSnには10%以上の増加が見込まれなくてはならない。

Table 12の各照射方式に対する線源の利用効率は以下のように計算した。試料が受ける吸収線量は線量範囲が6~15kradなので、概算的には平均10.5kradと考えてよいから試料の吸収エネルギーEaは処理量が10,000ton/月とすると $3.97 \times 10^9$ erg/secとなる。

$^{60}\text{Co}$  線源から放射されるエネルギーEcは1Ci当り $1.471 \times 10^5$ erg/secであるから、利用効率fは

$$f = \frac{E_a}{E_c \cdot Sn} = 2.70 \times \frac{1}{Sn} \times 10^4 \quad (11)$$

となる。

#### 6.4.2 照射方式に関する結論

以上の検討内容から総括的に判断した結果、照射部および迷路部のコンベアライン形状としてFig. 20に示したいくつかの概念図が想定された。これらのうち、今回の施設は必要線源量が比較的少なくかつコンベア機構の単純なサークルライン方式によるのが望ましく、機構上簡単な1ラインで照射ができる2サークル型がよいが、試料の反転機構が困難でなければ線源を1箇所に置いて処理できる1サークル型もよいと結論された。

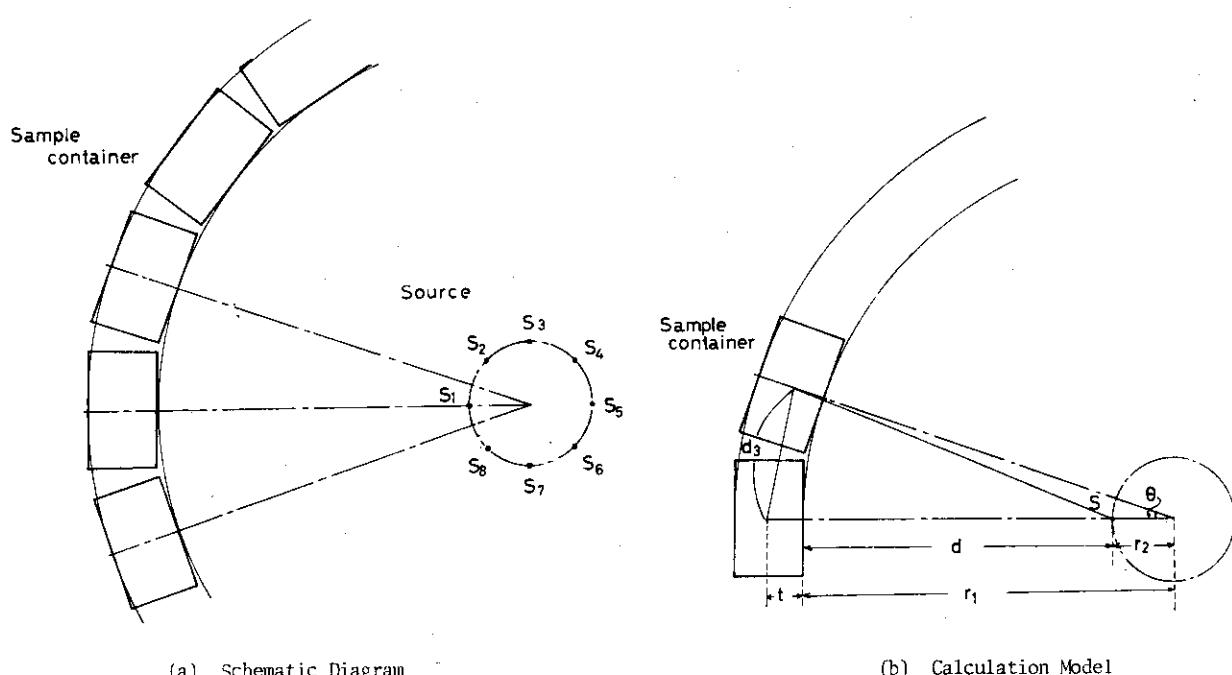


Fig. 18. Circular-Line Conveyor System.

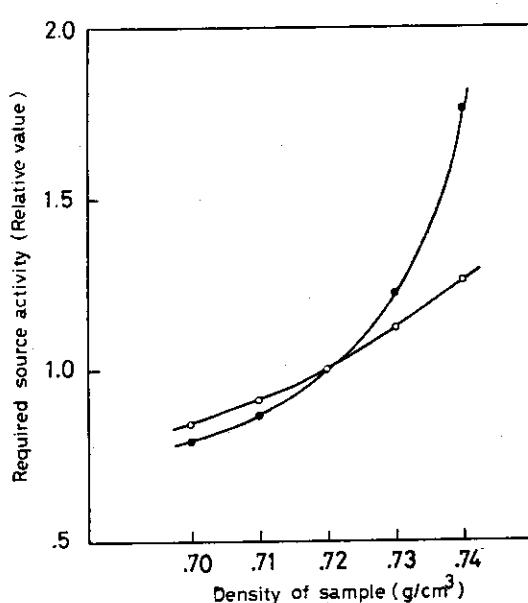


Fig. 19 Required Source Activity as a Function of Sample Density.

- (●) Single Straight-Line Conveyor System
- (○) Circular-Line Conveyor System

Table 9. Calculated Results for the Circular-Line Conveyor System  
when  $r_1=450\text{cm}$ .

$r_2$ (cm)	$X_{Ao}$ (R)	$\alpha_A$	Sn (kCi)
100	$2.78 \times 10^3$	2.49	255
50	$2.70 \times 10^3$	2.47	262
0	$2.67 \times 10^3$	2.47	265

Table 10. Effect of Sample Density on Sn and  $r_1$  when  $\alpha_A=2.50$  and  
 $r_2=0$  in the Circular-Line Conveyor System.

$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$r_1$ (cm)	Sn (kCi)
0.70	348	209
0.71	380	228
0.72	420	251
0.73	470	280
0.74	530	316

Table 11. Relation of Sample Density and Dose Uniformity in the  
Circular-Line Conveyor System when  $r_1=450\text{cm}$  and  $r_2=100\text{cm}$ .

$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\alpha_A$
0.70	2.39
0.71	2.44
0.72	2.49
0.73	2.54
0.74	2.60

Table 12. Comparison of Various Conveyor Systems when  $\alpha$  is 2.50 and Less.

Conveyor system	Distance between source and sample (cm)	Required source activity (kCi)	Effective irradiation width (cm)	Utilization efficiency(%)
Circular-line	$r_1=450$ $r_2=100$	255	$2\pi$ (rad)	10.6
Single straight-line	$d = 600$	992	740	2.7
Double straight-line	$d = 700$	929	500	2.9
Triple straight-line	$d_1=600$ $d_2=900$	546	740 [main] 660 [sub]	5.0

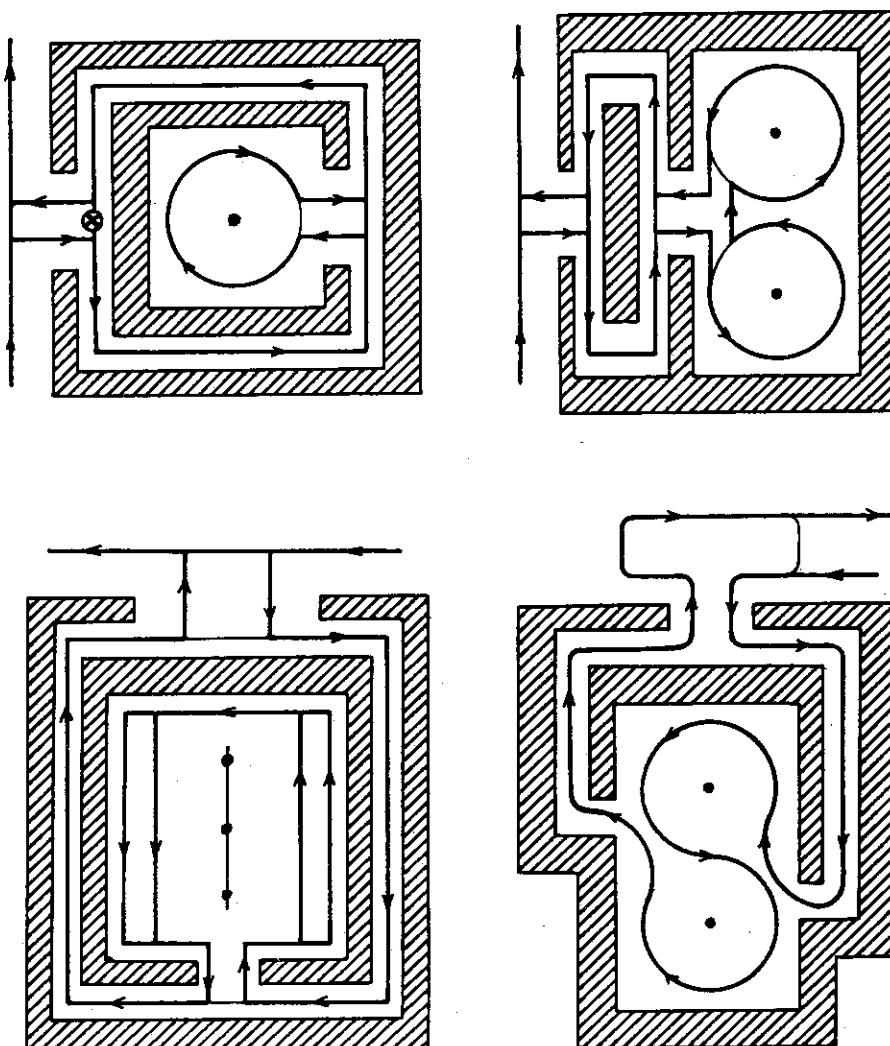


Fig. 20 Illustration of Some Conveyor Lines

## 7. ま と め

以上、今回の馬鈴薯照射施設設計上考慮を必要とする照射条件および装置の概要等について検討した内容を述べた。これら検討結果を概念的な仕様としてまとめるとつきのようになる。

- 1) 線源  $^{60}\text{Co}$
- 2) 線量範囲 6 ~ 15 krad
- 3) 線量均一度 2.5 以内
- 4) 照射容器 金網製大型コンテナ（内法幅 98 × 長 164 × 高 130 cm）
- 5) 照射処理能力 10,000 ton/月
- 6) 線源数量 300 Ci
- 7) 線源形状
  - (ユニット形状)  $12\text{ mm} \phi \times 300\text{ mm} \ell$  のステンレス密閉型
  - (組立形状) 直径 1 m × 高 1 m の円筒型
- 8) 照射方式 線源の周囲に同心円状のコンベアラインを備えるサークルライン 1 段式コンベア方式
  - 9) 線源とコンベアとの距離 4 m 以上
- 10) 照射室遮蔽能力 100 万 Ci
- 11) 線源の格納 水中格納方式

## 8. 付 記

高崎研究所においては、これら検討結果の詳細を受託調査報告としてまとめ、昭和 48 年 2 月士幌町農協に報告した。

士幌町農協は上記報告を基にして照射施設の詳細仕様を定め、建設を行なった。そして昭和 49 年 1 月 11 日「士幌アイソトープ照射センター」として本格的操業を開始した。

最後に参考として、士幌町に建設された照射施設の主要諸元および平面図を、本装置の施工に当った川崎重工業(株)の発表資料<sup>10)</sup>より引用し、Table 13 および Fig. 21 に示す。

## 7. ま と め

以上、今回の馬鈴薯照射施設設計上考慮を必要とする照射条件および装置の概要等について検討した内容を述べた。これら検討結果を概念的な仕様としてまとめるとつきのようになる。

- 1) 線源  $^{60}\text{Co}$
- 2) 線量範囲 6 ~ 15 krad
- 3) 線量均一度 2.5 以内
- 4) 照射容器 金網製大型コンテナ（内法幅 98 × 長 164 × 高 130 cm）
- 5) 照射処理能力 10,000 ton/月
- 6) 線源数量 300 kCi
- 7) 線源形状
  - (ユニット形状)  $12\text{ mm} \phi \times 300\text{ mm}\ell$  のステンレス密閉型
  - (組立形状) 直径 1 m × 高 1 m の円筒型
- 8) 照射方式 線源の周囲に同心円状のコンベアラインを備えるサークルライン 1 段式コンベア方式
  - 9) 線源とコンベアとの距離 4 m 以上
- 10) 照射室遮蔽能力 100 万 Ci
- 11) 線源の格納 水中格納方式

## 8. 付 記

高崎研究所においては、これら検討結果の詳細を受託調査報告としてまとめ、昭和 48 年 2 月士幌町農協に報告した。

士幌町農協は上記報告を基にして照射施設の詳細仕様を定め、建設を行なった。そして昭和 49 年 1 月 11 日「士幌アイソトープ照射センター」として本格的操業を開始した。

最後に参考として、士幌町に建設された照射施設の主要諸元および平面図を、本装置の施工に当った川崎重工業(株)の発表資料<sup>10)</sup>より引用し、Table 13 および Fig. 21 に示す。

Table 13. General Descriptions and Main Particulars of the  
 "Shihoro" Irradiation Facility

## (1) General Descriptions

ITEM	DESCRIPTIONS
Gamma-source	Cobalt 60 sealed source ; 300 kCi (possible to contain 800 - 1000 kCi) AECL type Cobalt 60 pellet 7,500 Ci × 36 pcs
Object to be irradiated	Container containing 1.5 tons of potatoes (internal dimensions) 0.98 M × 1.6 M × 1.3 M
Absorbed dose	Max. 15,000 rad (Welfare Ministry Notice No. 285) Min. 6,000 rad (limit of sprout inhibition)
Uniformity of distribution of absorbed dose	Max/Min = 15,000/6,000 = 2.5
Processing capacity	15 ton/hr (at the time of 10 containers) 10,000 ton/M (at the time of increase of source strength 15,000 ton/M possible)
Processing time ( per container )	Approx. 2 hours ( both-side irradiation )

## (2) Main Particulars

ITEM	SPECIFICATION	
Civil engineering work	Irradiation building	RC construction 449 sq.m.
	Control building	S construction 303 sq.m.
	Conveyor building	S construction 179 sq.m.
Conveyor	Carrying storage conveyor	1 unit each
	One side irradiated load return conveyor	1 unit
	Empty pallet return conveyor	1 unit
	Turn-table for reverse operation	1 unit
	Transporting line inside the maze	1 unit
	Turn-table for irradiation	6 m. radius 1 units
Gamma-source elevating equipment	Type	Endless chain system
	Max. loading load	500 kg
	Elevating speed	50 mm/sec
	Elevating distance	5870 m/m
Gamma-ray detector	Moving type monitor	Gamma-ray logarithm ionization chamber 2 units
	Fixed type monitor	ditto 1 units
Control equipment	Block control system	
	Graphic type operating panel	
Monitor	Radiation shielding glass window	1 unit
	ITV camera inside of irradiation cell for monitoring use	2 units
	ITV camera outside of irradiation cell for monitoring use	2 units
Associated facilities	Air conditioning equipment	1 set
	Air discharge equipment	1 set
	Water cleaning up equipment	1 set
	Emergency power equipment	1 set

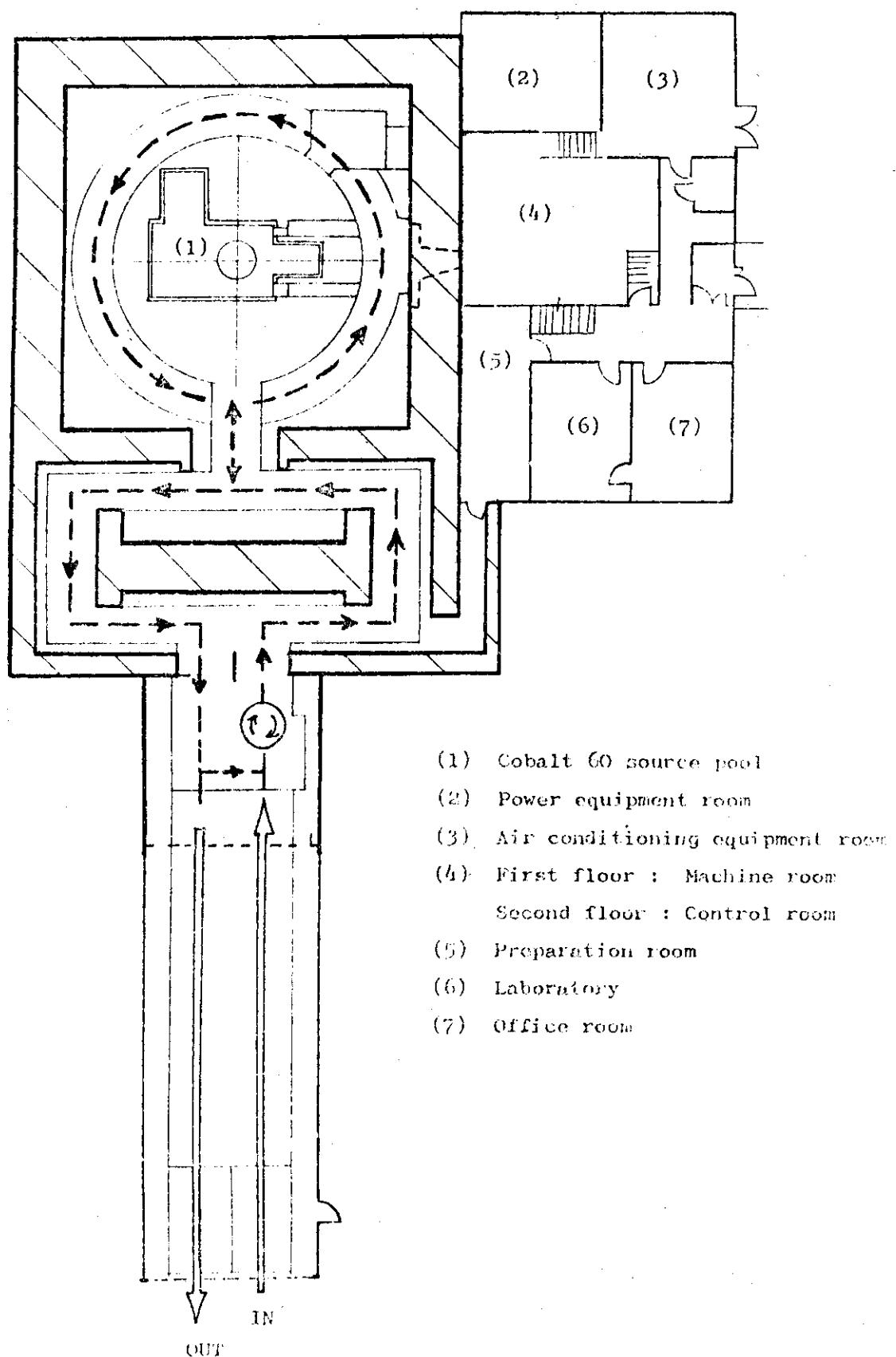


Fig. 21. Ground Plane of "Shihoro" Cobalt 60 Irradiation Facility

## 9. 謝 辞

本受託調査を実施するに当り、終始御懇切なる御指導を賜わった望月勉元高崎研究所長、重松友道開発試験場長、林克彦建設部長、安福晋太郎建設課長、椎山浩一元照射施設課長代理および建設部、照射施設課、食品照射開発試験室の各位、ならびに種々業務推進の労を執つていただいた廣瀬秀夫研究業務課長代理および研究業務課の各位、また、資料の整理まとめに御助力いただいた高見沢澄江、天田美恵子両嬢に深謝の意を表します。

## 10. 参 照 文 献

- 1) 厚生省告示第 285 号、昭和 47 年 8 月 30 日、官報第 13707 号( 1972 ) .
- 2) 梅田圭司、高野博幸、佐藤友太郎：食品工誌、16(11), 508(1969).
- 3) 梅田圭司、川嶋浩二、高野博幸、佐藤友太郎：食品工誌、16(11), 515(1969).
- 4) 高野博幸、青木章平、梅田圭司、佐藤友太郎：農林省食総研報告、No. 29, 48(1974).
- 5) 北海道規則第 12 号、昭和 48 年 2 月 24 日( 1973 ) .
- 6) 寺川 彰：線量測定講習会テキスト、東京、P. 66(1960) .
- 7) Goldstein, H. and Wilkins, J. E. : NYO-3075 (1954) .
- 8) Furuta, Y., Tsurue, A., Miyasaka, S., Tamura, K. and Kanemori, Y. : Nucl. Sci. Eng., 25, 85(1966) .
- 9) Taylor, J. J. : WAPD-RM-217 (1954) .
- 10) 田中義久、竹村守雄、西山昭之助、清水信雄、高田成美、鈴木 熙、猪鹿倉幸治、塩見信孝：FAPIG, No. 74, 35 (1974) .

## 9. 謝　　辞

本受託調査を実施するに当り、終始御懇切なる御指導を賜わった望月勉元高崎研究所長、重松友道開発試験場長、林克彦建設部長、安福晋太郎建設課長、樋山浩一元照射施設課長代理および建設部、照射施設課、食品照射開発試験室の各位、ならびに種々業務推進の労を執っていた廣瀬秀夫研究業務課長代理および研究業務課の各位、また、資料の整理まとめに御助力いたいたいた高見沢澄江、天田美恵子両嬢に深謝の意を表します。

## 10. 参 照 文 献

- 1) 厚生省告示第 285 号、昭和 47 年 8 月 30 日、官報第 13707 号( 1972 ) .
- 2) 梅田圭司、高野博幸、佐藤友太郎：食品工誌、16(11), 508(1969).
- 3) 梅田圭司、川嶋浩二、高野博幸、佐藤友太郎：食品工誌、16(11), 515(1969).
- 4) 高野博幸、青木章平、梅田圭司、佐藤友太郎：農林省食総研報告、No. 29, 48(1974).
- 5) 北海道規則第 12 号、昭和 48 年 2 月 24 日( 1973 ) .
- 6) 寺川 彰：線量測定講習会テキスト、東京、P. 66(1960).
- 7) Goldstein, H. and Wilkins, J. E. : NYO-3075 (1954) .
- 8) Furuta, Y., Tsurue, A., Miyasaka, S., Tamura, K. and Kanemori, Y. : Nucl. Sci. Eng., 25, 85(1966) .
- 9) Taylor, J. J. : WAPD-RM-217 (1954) .
- 10) 田中義久、竹村守雄、西山昭之助、清水信雄、高田成美、鈴木 熙、猪鹿倉幸治、塙見信孝：FAPIG, No. 74, 35 (1974) .