

2011. 4. 27

リモートコントロール化プロジェクトチーム

汎用重機やロボットにおける
耐放射線性評価と管理方法の基本的な考え方
第1版

【本書の目的】

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の復旧作業のため、線量率の高いところでの作業には、作業員に代わり汎用重機やロボットが投入されつつある。当面、投入される汎用重機やロボットは特別の耐放射線性対策が採られていない汎用のものである。

万が一、これら汎用の重機やロボットが放射線損傷から作業現場で故障すると、次に投入される重機やロボットの作業の障害になり、復旧作業に重大な支障が出るのが懸念される。

このため、現在投入されているものあるいはこれから投入される重機およびロボットの耐放射線性の概略評価を行うとともに、放射線損傷による故障を未然に防ぐための寿命管理方策について検討した。

【耐放射線性の概略評価】

原子力施設における放射線損傷としては、電気部品の絶縁材、潤滑油、パッキンなどに使われている有機物の劣化によるものや、半導体など電子部品に電荷がたまって機能しなくなるものなどが知られている。

これまでの JAEA における照射試験結果によれば、汎用品の電気部品やオイルなど有機物の放射線損傷によるものの耐放射線性が $10E4Sv \sim 10E7Sv$ であるの比べ、電子部品の耐放射線性は $10E1 \sim 10E2$ と低い結果となっている（添付 1 参照）。

また、今回の福島第一原子力発電所事故に対する日米協力の一環で米国 DOE に汎用電子部品の耐放射線性について照会したところ、 $30 \sim 50Sv$ との回答であった。

千葉工大および東北大共同開発の災害ロボット Quince の汎用電子部品で構成された電子回路（PC ボード等）を、日本原子力研究開発機構高崎研究所 Co60 照射施設で緊急に照射試験を行った結果、 $200Gy$ まで放射線照射に耐えられることが判明した。また、同時に Quince 用センサ、モータドライバ等を $200Gy$ まで照射した結果、CCD カメラ及びレンジファインダ各 1 種類が、照射中に故障した（添付 2 参照）。

さらに製造科学技術センターが平成 11 年度第二次補正予算で実施した「原子力防災支援システム開発補助事業」の成果でも汎用電子部品で構成したロボットでも 20Sv 以上の耐放射線性を有するとしている。

以上より、既に福島第一原子力発電所の事故現場に投入された重機およびロボットの電子回路で、汎用電子部品で構成されたものの耐放射線性は数 10Sv～100Sv と概略評価できる。

注意すべき点は、電子部品（半導体）の耐放射線性は同じロットで製造されたものであってもバラツキが大きいことである。

【電子部品の使用条件と遮蔽体設置について】

今回の福島第一原子力発電所の事故では燃料の冷却ができなくなり、高温になった燃料が破損して、主として揮発性核種 I131、Cs137 等が放出されたものと想定される。これらの核種から放出される放射線のうち β 線はエネルギーが最大でも 1Mev 程度であり、筐体で十分に遮蔽できるレベルであり、 γ 線のみを考慮すればよい。Cs137 から放出される γ 線の 1/10 価層は鉛で 2-30mm、鉄鋼で 7-80mm である。重機やロボットに期待される寿命から所要の遮蔽体を施すことが望まれる。

しかしながら当面、現場に投入するものには遮蔽体を施していない。さらに重機に使われている電子部品は一か所に集中配置されているのではなく、エンジン付近であったり、操作キャビン内であったり、キャビン後の後方であったりと各所に分散配置されており、一つ一つに遮へいを施すにはスペースや重量の観点から合理的ではない。ロボットについても、電子部品を遮蔽することで重量超過による動力性能が悪化することなどが懸念される。これらの様に遮蔽することが現実的でない場合が少なくない。

また、大型の重機やロボットなど、それが故障した場合に撤去することもままならず、その後の復旧作業に大きな支障を及ぼす。相対的に小型の重機やロボットなど、故障した場合でも著しい手間をかけずに回収する等の措置が可能なもの（例えば、より大型の重機やロボットで撤去あるいは回収可能なもの、あるいは緊急時に手動に切り替えて（電子回路に頼ることなく）退避可能なもの）では、耐放射線性や遮へいの重要度は前者に比べ若干低くなると考えられる。

【電子回路の放射線性寿命の管理方法】

遮蔽を施すことが現実的でない場合の放射線寿命管理方法（案）を述べる。

上述のように、汎用電子部品による電子回路の耐放性は数十～百 Sv と概略評価できるもののバラツキも大きい。大型の重機やロボットは保守的に 20Sv とし

て管理し、故障した場合でも著しい手間をかけずに回収する等の措置が可能なものは平均値よりやや低めの 30Sv として管理することが推奨される。したがって、20Sv あるいは 30Sv に達する時点で、電子回路を交換することが推奨される。交換後の電子回路の放射線寿命も 20Sv あるいは 30Sv と評価することが推奨されるが、より長期にわたって使用することが必要な場合は、交換用電子回路と同じものを緊急に照射試験を実施し、その耐放射線性を確認したうえで、放射線寿命を管理することが現実的と考えられる。

今後は、実際の作業現場で稼働する重機やロボットの電子部品が曝される放射線量の測定結果を蓄積・共有することで、管理に用いる放射線量の測定箇所の設定や上述の保守的な管理目安値の見直しを行うことが必要である。

注) 本資料中では以下を仮定しています。

- 1) 放射線として γ 線を想定している
- 2) 1Gy を 1Sv として換算しています (換算計数を保守的に “1” とした)。

ロボット等の構成部材の耐放射線性に関するめやす

電子部品

(1) 耐放射線性 IC として市販されている部品

| | |
|----------|------|
| ・ロジック IC | 3KGy |
| ・MOS IC | 1KGy |
| ・CPU | 1KGy |

(2) 一般的民生品として販売されている電子部品

| | |
|---------------|--------|
| ・バイポーラ型トランジスタ | 10KGy |
| ・バイポーラ型オペアンプ | 100KGy |

(放射線による増幅率の低下が発生する。増幅率に裕度を
持たせること、補償回路を設ける等の対応が必要)

| | |
|------|-----------|
| ・その他 | 20*~100Gy |
|------|-----------|

*: 文献によっては 30Gy 程度の照射でメモリーのビットエラーが発生するとの報告があり、今後精査が必要

カメラ

(1) 耐放射線性カメラとして市販されている部品

| | |
|---------------------|-------|
| ・撮像管式カメラ | 1MGy |
| ・固体撮像素子カメラ (CID 素子) | 10KGy |

(2) 一般的民生品として販売されている CCD カメラは、おおよそ 10~100Gy が寿命と推察される。

ケーブル

(1) 耐放射線性ケーブルとして市販されている部品 1~10MG y

ただし、柔軟性が必要な場合は、硬化について確認が必要

高分子材料

(1) 種類と使い方により、耐久性が異なるため、ATOMICA H.P. を参照のこと。

http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_Key=08-04-02-12

モータ

(1) 耐放射線性モータとして市販されている部品 1MG y

(2) 一般民生品の場合は、耐熱性により異なる。

(耐熱性の高いものが耐放射線に優れるとの傾向を示すと推察される。)

オイル

- | | |
|-------------------------|-------|
| (1)耐放射線性オイルとして市販されている部品 | 1MGy |
| (2)一般民生品として販売されているオイル | 10KGy |

注 1) 1 Sv を 1Gy と換算した。

注 2) 本めやすは、各社 H.P. 等の情報を概括するとともに、これまでの研究開発の実績・経験を加味して”めやす”として示したものであり、正確な値ではありませんし、耐放射線性を保証するものではありません。また、同じ部品を用いても、使用条件により寿命は異なります。

不整地移動ロボット Quince に利用している電子部品の耐放射線試験

2011 年 4 月 21 日

日本原子力研究開発機構, 東北大学, 千葉工業大学プロジェクトチーム

1. はじめに

不整地移動ロボット Quince に利用している民生品の電子部品について耐放射線試験を実施し, モジュール単位での耐放射線性を確認する. なお試験は, コバルトを線源とするガンマ線を使用する.

2. 利用施設・試験日

〒370-1292 群馬県高崎市綿貫町 1233

独立行政法人日本原子力研究開発機構 高崎量子応用研究所

2011 年 4 月 15 日 10 時~17 時 (照射は 11 時~16 時)

2011 年 4 月 20 日 10 時~18 時 (照射は 12 時~17 時)

3. ガンマ線照射試験

4 月 15 日の試験において, 線源は, コバルトの線型線源 3 本を利用し, 線源から 0.66m の位置に, 被照射物を設置した. これにより, 20Sv/hour のガンマ線を, 連続的に被照射物に当てることが可能となる. 右図に照射試験の概観 (上) ならびに被照射物 (中) を示す.

続いて, 4 月 20 日の試験では, 線源は 4 月 15 日の試験と同様, コバルトの線型線源 3 本を利用し, 4 月 15 日に試験を行った被照射物については, 線源から 0.66m の位置に設置した. これにより, 20Sv/hour のガンマ線を, 連続的に被照射物に当てることが可能となる. 4 月 15 日に行った試験で 100Sv 照射しているため, 本試験では, トータル 10 時間, トータルドーズ 200Sv となる.

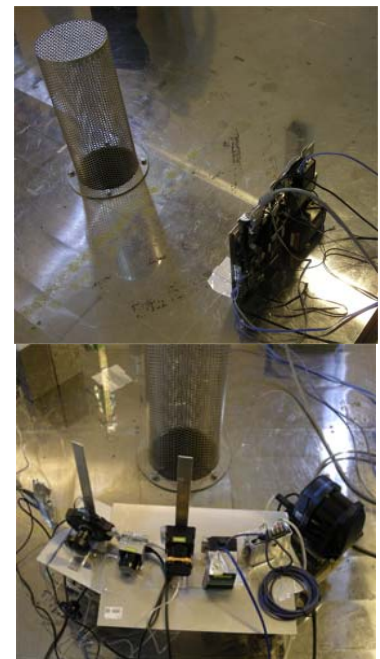
一方, 4 月 20 日に新たに試験を行うセンサ類については, 被照射物を線源から 0.45m の位置に設置した. これにより, 40Sv/hour のガンマ線を, 連続的に被照射物に当てることが可能となる. よって 4 月 20 日の試験では, トータル 5 時間, トータルドーズ 200Sv となる. センサ類の配置の概観を右図 (下) に示す.

なお, 照射量の確認のため, 照射量測定試験体 (アミノグレイ) を各被照射物付近に設置した.

4 月 15 日の実験における被照射物は, ロボットに搭載するもののうち, 以下を選定した.

CPU ボード

DC-DC コンバータ



LAN ハブ

電池

無線機

POE 給電器

ビデオサーバ

カメラ

それぞれのデバイスの動作確認手法について、以下に示す。

<ping テスト>

- ・各機器に ping を打って、返ってくるかどうか確認する。対象機器は下記。

ping が返ってこなければ、その機器は故障している可能性あり。

- ・ CPU ボード IP:192.168.0.10
- ・ ビデオサーバ IP:192.168.0.20
- ・ 無線子機 IP:192.168.0.2

<POE 受電機経由で ping テスト>

- ・ POE 受電機経由で ping を打つ。(POE 受電機の故障確認)

上記 ping テストのうち、ping が返ってきた機器 1 台にのみテストすればよい。

<カメラ画像テスト>

- ・ ブラウザでビデオサーバにアクセスし、カメラ画像が写っているかどうか確認する。

このテストは、カメラ（バックはまかせろ）の故障確認である。

また、カメラの映像に赤色 LED が映るようになっている。この LED が点灯していれば、POE 受電機から DC12V が出力されているという事を確認できる。

<CF のテスト>

- ・ CPU ボードのリセットスイッチを押して、機動するかどうか確認する。

正常に起動しなければ、CF 故障の可能性あり。

30 分に一回程度行えばよい。

<CPU ボードのテスト>

- ・ 上記の ping テストとは別に、USB コントローラ等が活着ているか確認する。

接続しているキーボードから入力できるかどうか確認する。

<急に、複数の機器から ping が返ってこなくなった>

こんなときは、下記の可能性がある。何れにしても、こうなってしまったら実験終了。

- ・ LANHub が故障
- ・ 電源ボードの故障
- ・ バッテリーの故障

上記のうち、LANHub の故障であれば LANHub を交換する。

4 月 20 日の実験における被照射物は、4 月 15 日に照射したものに加えて、以下を選定した。

- ・ スキャナ式レンジセンサ
- ・ 3次元距離画像センサ
- ・ CAN-USB デバイス
- ・ 広角ネットワークカメラ
- ・ USB-HUB
- ・ Motor Driver

各センサデバイスは、PC 上でセンサデータを表示させることで、動作確認を行うこととした。また、CAN-USB ドライバの動作確認については、受信した CAN のパケットを表示させることで、動作確認を行うこととした。また、Motor Driver は、シリアルコンソールの応答を確認することで、動作確認を行うこととした。なお、モータドライバについては、照射中、モータの回転実験を行っていない。そこで、実験終了後にモータを接続して、動作チェックを行うこととし、試験中は、主にモータドライバ内の CPU ボードの動作確認のみ行うこととした。

4. 測定結果

まず、4 月 15 日に照射したガンマ線の量について、アミノグレイを用いて測定した結果を以下に示す。なお、この結果は、4 時間 20 分後にバッテリー交換を行った際、アミノグレイを取り出して解析を行ったものである。これにより、照射が予想通り行われていたことが確認できた。

| 番号 | Peak | Gy | Gy/hour | 気温 | 設置位置 | 最終照射量 Gy |
|-----|--------|-------|----------|------|--------|----------|
| 790 | 67.709 | 82.15 | 1.90E+01 | 19.1 | 被試験体左側 | 95Gy |
| 800 | 69.359 | 84.03 | 1.94E+01 | 19.1 | 被試験体右側 | 97Gy |
| 870 | 73.300 | 88.50 | 2.04E+01 | 19.1 | 被試験体中央 | 102Gy |

(測定の誤差は、3%以内)

4月15日の照射試験中の様子を右図に示す。照射試験の結果、5時間後（トータルドーズで、100Gy）を与えた後にも、全てのデバイスは、正常に動作を行った。デバイスにも個体差はあるため、1台の試験結果から結論づけることは多少危険ではあるが、各デバイスは、少なくとも約100Gyの耐放射線を有することが分かった。



次に、4月20日に照射したガンマ線の量について、アミノグレイを用いて測定した結果を以下に示す。なお、この結果は、3時間51分後にバッテリー交換を行った際、アミノグレイを取り出して解析を行ったものである。これにより、照射が予想通り行われていたことが確認できた。

| 番号 | Peak | Gy | Gy/hour | 気温 | 設置位置 | 最終照射量 Gy |
|------|---------|--------|----------|------|-----------------|---------------|
| 880 | 59.632 | 73.04 | 1.93E+01 | 21.0 | 被試験体右側 | 96.5 |
| 1015 | 64.365 | 78.57 | 2.08E+01 | 21.0 | 被試験体中央 | 104 |
| 1016 | 59.498 | 72.89 | 1.93E+01 | 21.0 | 被試験体左側 | 96.5 |
| 1017 | 120.100 | 142.46 | 3.77E+01 | 21.0 | CAN-USB | 188.5 |
| 1018 | 106.552 | 126.70 | 3.35E+01 | 21.0 | Motor Driver(参) | 167.5 |
| 1019 | 145.188 | 173.26 | 4.58E+01 | 21.0 | スキャナ式レンジセンサ1 | 229 |
| 1020 | 119.538 | 141.80 | 3.75E+01 | 21.0 | USB-HUB | 187.5 |
| 1616 | 140.247 | 166.98 | 4.41E+01 | 21.0 | スキャナ式レンジセンサ2 | 124.2 (2h49m) |
| 1617 | 147.056 | 175.67 | 4.64E+01 | 21.0 | スキャナ式レンジセンサ3 | 232 |
| 1618 | 142.830 | 170.25 | 4.50E+01 | 21.0 | 3次元距離画像センサ(前) | 225 |
| 1619 | 133.521 | 158.61 | 4.19E+01 | 21.0 | 3次元距離画像センサ(後) | 209.5 |
| 1620 | 139.467 | 166.00 | 4.39E+01 | 21.0 | 広角ネットワークカメラ | 219.5 |

なお、モータドライバに設置した1018番のアミノグレイについては、実験中、テープがはがれ、地面に落下してしまったため、これについては、参考値とした。

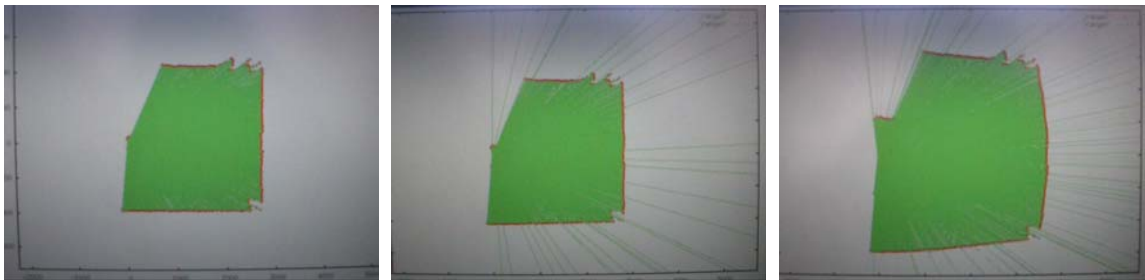
4月20日の照射試験の結果は、以下の通りである。

まず、2時間49分後に、スキャナ式レンジセンサ2からの応答がなくなった。回収後に、再度動

作確認を行ったが、動作しなかったため、故障したと考えられる。このセンサにトータルで与えた線量を、アミノグレイの値から計算すると、およそ 124Gy である。

次に、カメラについては、4 月 20 日の試験開始から 3 時間弱（4 月 15 日からの積算で 8 時間弱）経過したあたりで、取得画像の色合いが多少変化し始めた。その後、3 時間 51 分経過した際、バッテリー交換を行ったが、その直後より、映像が映らなくなった。ビデオサーバからは、データが送られてきているため、カメラ自体が故障したと考えられる。故障までにトータルで与えた線量をアミノグレイの値から計算すると、およそ 169Gy である。

一方、スキャナ式レンジセンサ 1 については、5 時間後（トータルドーズで 200Gy）も、センサデータを返してきてはいたが、試験開始直後から、ガンマ線の照射中、測定結果に大きなノイズが入ることが分かった。具体的には、ガンマ線の照射前は、安定して試験環境の壁を取得できているが（下図左）、ガンマ線照射中は、測定値無限大となる測定結果がランダムに発生し（下図中）、さらに、全体の測定値にも、大きな誤差が乗る症状が、時々生じた（下図右）。さらに、10 分程度に一度、全体の測定値が無限大となる状況も発生した。



その他のデバイスについては、5 時間後（トータルドーズで、200Gy）にも、全てのデバイスが正常に動作した。特に、スキャナ式レンジセンサ 3、3 次元拳画像センサ共に、200Gy の照射後も、デバイスはセンサデータを正常に返し続けた。デバイスにも個体差はあるため、1 台の試験結果から結論づけることは多少危険ではあるが、各デバイスは、約 200Gy の耐放射線を有することが分かった。

5. まとめ

過去の耐放射線試験において、50Gy 付近で、ノート PC が故障したという例があったため、本試験においても、50Gy 付近で、CPU ボードが故障するという予想をたてていた。これにより、100Gy までの試験で十分と判断していたが、4 月 15 日の試験終了時点で、全てのデバイスが正常に動作していた。そこで、4 月 20 日の試験においては、4 月 15 日に試験したデバイスの継続照射についても、4 月 20 日に初めて照射するデバイスについても、トータルで 200Gy を与えるような配置で試験を行った。

試験の結果、カメラが 169Gy、スキャナ式レンジセンサ 2 が 124Gy で故障したが、それ以外のデバイスは、200Gy まで耐えられることがわかった。このことは、Quince は、暴露状態でも、1 Gy/hour の高放射線下の環境でも 150 時間以上、動作が可能であることを意味する。よって、通常の運用においては、「走行性能を大幅に低下させる鉛シールド」が必要ないと考えられる。この点において、本試験で得た知見は大きい。

また、理由は明らかになっていないが、スキャナ式レンジセンサ 1 がガンマ線環境下において、計測結果の信頼性が低いことが分かった。一方、スキャナ式レンジセンサ 3 は、200Gy の試験においても、故障することなく、安定した値を返していた。このことから、ガンマ線環境下においては、スキャナ式レンジセンサ 1 の利用ではなく、スキャナ式レンジセンサ 3 に防水処理を加えて運用することが望まれる。

2 耐放射線試験

2. 1 はじめに

一般的に、ロボットを構成する部品の中で最も耐放射線性が低いものは電子部品であり、本システムで使用する電子部品の代表的なもの（コントローラ、視覚センサ等）について耐放射線試験を実施し、部品単位での耐放射線性を確認する。なお、試験はガンマ線および中性子線を使用して行う。

2. 2 ガンマ線照射試験

A 被照射物品

被照射物は、ロボットに搭載する物のうち、特に耐放射線性に劣るとと思われるコントローラおよび視覚センサ等から選定した。一覧を表 2.2.A-1 に示す。

表 2.2.A-1 ガンマ線被照射物品

| 品名 | 型番 | 数量 |
|---------|-------------------|----|
| CCD カメラ | SONY FCB-IX10 | 2 |
| CCD カメラ | SONY FCB-IX470 | 2 |
| 赤外線カメラ | ニコン LAIRD-S270 | 1 |
| モータドライバ | TITech IG-138 | 2 |
| CPU ボード | TETRA AT-595VRE | 1 |
| コントローラ | 東芝 DynabookSS3480 | 4 |

B 照射線量

γ 線照射線量設定の基本は、最大仕様である 10Gy/h における最低 2 時間の作業を想定し、積算線量 20Gy 以上で使用可能であることを確認する。しかし、機器がこの線量率以下で影響を受ける可能性もあることを考慮して、照射は低線量率（1Gy/h）から開始する。一方、 γ 線線量率 10Gy/h・2 時間の照射で異常がない場合はさらに高線量での異常発生を確認する。この場合は約 40Gy/h ないし約 80Gy/h で最大積算線量 200Gy まで照射することを計画した。

C 試験結果

表 2.2.C-1 異常発生時の照射線量のまとめ

| 照射物品 | 異常発生時の照射線量（積算） | |
|---------|----------------|---|
| CCD カメラ | 1 | ズーム WIDE がきかない(1 4 1 G y)、映像は確認可能@(2 3 1 G y) |
| | 2 | ズーム WIDE がきかない(1 1 9 G y)、故障(1 9 1 G y) |
| | 3 | ズーム WIDE がきかない(1 2 3 G y)、故障(1 9 1 G y) |
| | 4 | ズーム WIDE がきかない (1 3 0 G y)、故障 (1 7 6 G y) |
| 赤外線カメラ | 故障 | 画像が消えた。(1 1 0 G y) |
| モータドライバ | 異常なし | (2 2 2 G y) |
| CPU ソード | 異常なし | (1 0 0 G y) |
| コントローラ | 1 | 故障 テストプログラム停止 ソウス作動せず (5 0 G y) |
| | 2 | 故障 テストプログラム停止 ソウス作動せず (5 0 G y) |
| | 3 | 故障 テストプログラム停止 (2 3 G y) |
| | 4 | 故障 テストプログラム中、ソウスの矢印が左右に流れる(93 G y) |



図 2. 2. C-1 照射室内

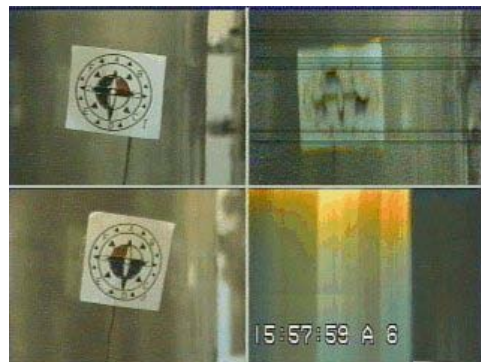


図 2. 2. C-2 CCD カメラ画像 (異常発生時 : 積算線量 190Gy)

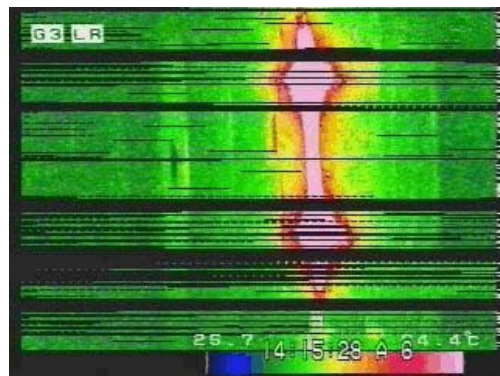


図 2. 2. C-3 赤外線カメラ画像 (異常発生時 : 積算線量 110Gy)

2. 3 中性子線照射試験

中性子照射試験は、東芝訓練用原子炉（TTR）の熱中性子柱設備（サーマルコラム）内に被照射物を設置して行う。

A 被照射物品

被照射物は、ガンマ線照射試験で使用したコントローラおよび視覚センサ等に加え、中性子照射の実績のない耐放射線カメラとアンドロス用 CPU ボード（VI-A）およびリレーボード（V-A1）を照射する。一覧を表 3-1 に示す。

表 2.3.A-1 中性子線被照射物品

| 品 名 | 型 番 | 数量 |
|---------|-------------------|----|
| CCD カメラ | SONY FCB-IX10 | 2 |
| CCD カメラ | SONY FCB-IX470 | 2 |
| 赤外線カメラ | ニコン LAIRD-S270 | 1 |
| 耐放カメラ | AEA 404 | 1 |
| モータドライバ | TITech IG-138 | 2 |
| CPU ボード | アンドロス VI-A 用 | 1 |
| リレーボード | アンドロス V-A1 用 | 1 |
| コントローラ | 東芝 DynabookSS3480 | 2 |

B 照射線量

中性子線の照射線量率は、JCO における臨界事故時の建屋内の中性子線線量当量率を想定して設定した。

C 照射試験および結果

中性子照射試験は、東芝訓練用原子炉（TTR）の熱中性子柱設備を用いて行う。

出力は低線量率試験（10W×2h → 50W×2h）および高線量率試験（150W×2h → 1kW×2h）に分けて実施した。なお、耐放カメラは高線量率試験（10W×0.5h → 150W×2h → 1kW×2h）のみを実施した。

2.3.C-2 に異常発生時の照射線量を、表 3-4、3-5 に照射された線量をまとめた。また、図 2.3.C-2 照射試験時の状況を、照射時の視覚センサの映像の変化を図 2.3.C-3～2.3.C-11 に示す。

表 2.3.C-1 異常発生時の照射線量のまとめ

| 線量率 | 照射物品 | 異常発生時の照射線量 (積算: n, γ) |
|---|---------------|---|
| 低線量率 | CCDカメラ | 1 フォーカス追従できない、画面いっぱいの水玉模様 (n: 0.4 γ : 0.2)。 フォーカスのズレ発生 (n: 9 γ : 5.4) |
| | | 2 フォーカス追従できなくフォーカスにズレ発生 (n: 1.5 γ : 0.9) |
| | | 3 フォーカス追従できなくフォーカスにズレ発生 (n: 1.7 γ : 1.0) |
| | | 4 フォーカス追従できなくフォーカスにズレ発生 (n: 1.1 γ : 0.7) |
| | 赤外線カメラ | 画像が揺らぐ (n: 2.0 γ : 1.2)、その後異常なし |
| | モータドライバ | 照射終了後に動作試験: 1台正常、1台反転異常 |
| | CPUソード、リレーソード | 照射終了後にロソットに組み込んで動作試験: 異常なし |
| | コントローラ | 1 初期画面に戻る、再起動にてテスト開始 (n: 1.0 γ : 0.6)、画面が消えた (n: 1.9 γ : 1.1) |
| 2 テストプログラム停止 (n: 0.2 γ : 0.1)、画面が消えた (n: 2.1 γ : 1.2) | | |
| 高線量率 | CCDカメラ | 1 画像が一瞬消えた (n: 204 γ : 112)、画像判別困難 (n: 251 γ : 150)、 動作不能 in: 451 γ : 270) |
| | | 2 画像の文字に歪み (n: 41 γ : 25)、絵縦に広がる (n: 79 γ : 47)、 判別困難 (n: 251 γ : 150)、動作不能 in: 464 γ : 278) |
| | | 3 ズームにピントが合わない (n: 43 γ : 26)、画像が消えた (n: 247 γ : 148) |
| | | 4 ズームにピントが合わない (n: 45 γ : 27)、動作不能 in: 111 γ : 66) |
| | 赤外線カメラ | 画像がぼやけて広がりチラツク (n: 84 γ : 50)、画像が消える (n: 151 γ : 90) |
| | 耐放射線カメラ | 画面にチラツキが出て出力と共に増加 (2W<10W<150W<1kW: 画面いっぱい)、 TTR出力降下と共に回復: 照射前状態に戻る。 |
| | モータドライバ | 照射終了後に動作試験: 1台反転異常、1台正転・反転異常 |
| | CPUソード、リレーソード | 照射終了後にロソットに組み込んで動作試験: 異常なし |
| | ダイナブック | 1 テストプログラム停止、青い画面となる (n: 27 γ : 16) |
| | | 2 エラーメッセージでプログラム停止 (n: 28 γ : 17) |

表 2.3.C-2 照射量 (耐放カメラ以外)

| TTR出力 (W) | 照射時間 (h) | n線量率 (Sv/h) | γ 線量率 (Sv/h) |
|-----------|----------|-------------|---------------------|
| 10W | 2 | 2 | 1.2 |
| 50W | 2 | 10 | 6 |
| 照射量 (Sv) | | 24 | 14.4 |
| 150W | 2 | 30 | 18 |
| 1kW | 2 | 200 | 120 |
| 照射量 (Sv) | | 460 | 276 |
| 全照射量 (Sv) | | 484 | 290.4 |

表 2.3.C-3 照射量 (耐放カメラ)

| TTR出力 (W) | 照射時間 (h) | n線量率 (Sv/h) | γ 線量率 (Sv/h) |
|-----------|----------|-------------|---------------------|
| 50W | 0.5 | 10 | 6 |
| 150W | 2 | 30 | 18 |
| 1kW | 2 | 200 | 120 |
| 全照射量 (Sv) | | 465 | 279 |

図 2.3.C-1 被照射物品のセット状況

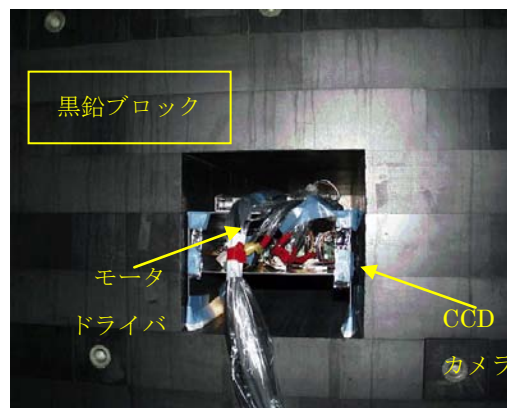




図 2.3.C-2 CCD カメラ画像 (No.4 故障時)

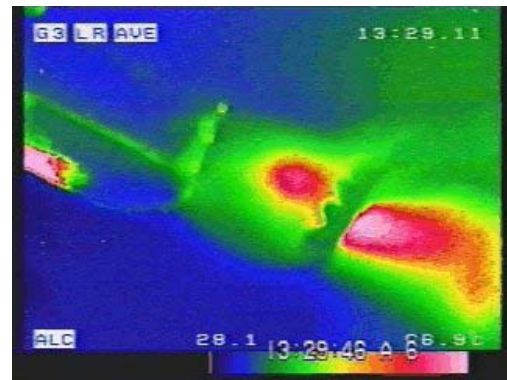


図 2.3.C-3 赤外カメラ画像
(ちらつき発生時)



図 2.3.C-4 耐放カメラ画像 (1kW 照射時)

2. 4 まとめ

ガンマ線照射試験では、CCD カメラ、赤外カメラ、モータドライバ、CPU ボードおよびコントローラの照射を行った。いずれも 20Gy (10Gy/h×2h) の照射では異常は発生しないことを確認した。

中性子線照射試験は、原子炉の熱中性子柱試験設備を用いて CCD カメラ、赤外カメラ、耐放カメラ、モータドライバ、コントローラ、さらにアンドロス用の 2 種類のボードを試験した。ガンマ線に比べると低線量で異常が発生している。CCD カメラは画素が抜けていく現象が特異的であった。耐放カメラは照射中にノイズが乗るものの映像は識別可能で、照射終了後は照射前の状態に復帰し、中性子線に対しても高い耐放射線性を有することが確認できた。コントローラの照射ではメモリエラーと思われる現象があり、照射中に異常が起きても終了後は正常復帰する現象が確認されていることから、照射終了後の試験で正常に機能したアンドロス用の CPU ボードおよびリレーボードについても照射中に異常が起きていた可能性を否定できないが、今回の試験では確認できなかった。