

CABLE DEGRADATION CAUSED BY INDOOR LIGHTING AND ACTION AGAINST IT

Yasuhide Ishizawa^{#,A)}, Tomohiro Matsushita^{A)}, Kunikazu Takeshita^{A)}, Msakatu Yamahira^{B)}, Akihiro Yamashita^{A)}

^{A)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)

1-1-1, Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198, Japan

^{B)} SPring-8 Service Co., Ltd.

1-20-5, Kouto, Shingu-cho, Tatuno-si, Hyogo, 679-5198, Japan

Abstract

Cross-linked polyethylene cables are used as instrumentation signal cables in beamline interlock system of SPring-8. This type cable has excellent characteristics in electrical performance, resisting radiation, heat and corrosion. However, some polyethylene cables degraded after over ten years used in beamline interlock system. We investigated the reason of cable degradation by a Fourier transform infrared spectroscopy and a climatic testing. The investigation showed that degrading factors of cable was ultraviolet. Cross-linked polyethylene has been chemical-changed by ultraviolet from fluorescent lights and metal halide lamps. We describe these experimental results and countermeasure techniques.

室内照明によるケーブル劣化と対策

1. はじめに

SPring-8 は、共用を開始し 14 年が過ぎようとしている。現在 53 本のビームラインが稼働し、2011 年 10 月からは、新たに 2 本のビームラインの運用が予定されている。

当初 SPring-8 ビームラインインターロックシステムでは、原子力発電施設の性能規定に準じた特殊な機器を用いていた。それらの機器は、ビームラインのインターロックにおいてはオーバースペックであると判断し、一般的な工業用品への変更を行った。ケーブルにいたっても太く、固く、高価で丈夫なケーブルから一般的な架橋ポリエチレン製ケーブルに移行した。

2009 年、架橋ポリエチレンケーブルの被覆に剥がれ、クラック等の異常が発生していることが判明した。全てのインターロックで使用しているケーブルを調査したところ、1999 年に建設された 5 式のビームラインの放射線下流シャッターの信号ケーブル等に同様の現象が起きていた。又、インターロックケーブル以外の信号ケーブルにもケーブル被覆の変化、クラック等の異常が見つかった。

2. ポリエチレンケーブル

ビームラインインターロックシステムでは、計装用架橋ポリエチレン絶縁ビニールシースケーブルツイストペア多芯線 (0.75SQ/1P) を機器状態監視用信号線として用いている。

計装用架橋ポリエチレンケーブルは、難燃性、絶縁性、耐熱性、軽量で敷設性がよく、耐衝撃、摩耗性に優れている。ビームラインハッチ内の X 線に対して十分な耐性を持っており安価である。近年、絶縁体にポリエチレン素材を用いるケーブルは、エコ (EM) ケーブルと呼ばれ広く普及している。

2.1 ポリエチレンケーブルの構造

図 1 は、計装用架橋ポリエチレンケーブルの構造図である。導体は、錫めっき軟銅より合わせ、断面積 0.75mm²。導体の上に架橋ポリエチレンの絶縁体を被せており、ケーブルは、2 本の絶縁体付導体 (コア) を対よりあわせ。シールドは、アルミマイラー (AL/PET) テープ及びシールドの 2 重構造。ドレインワイヤとシールドは、電気的等電位。最外郭は、素材ビニールのシースを被せる構造となっている。



図 1 : 計装用架橋ポリエチレンケーブルの構造

2.2 劣化ケーブルの外観及び触診

図 2 は、劣化が生じた白色ケーブルと敷設状況を撮った画像である。ケーブルは、機器の状態信号を取り合いする端子台側近でシース及びシールドを剥ぎ、約 500mm 程度コアをむき出し、固定バンドで固定して敷設している。

ケーブルの劣化は、コアの絶縁体に発生していた。劣化状態は、コアの絶縁体 (被覆) が硬化しケーブルを動かすもしくはケーブルを湾曲させた部位の絶縁体が剥がれる。その結果、導体がむきだしになり、絶縁破壊を起こしていた。又、ケーブルにクラックが入っていた。これらの現象は白線ケーブルのみに発生していた。

コアの絶縁体を剥き中の導体を外観検査したが、導体には異常はなかった。

[#]yasu @spring8.or.jp

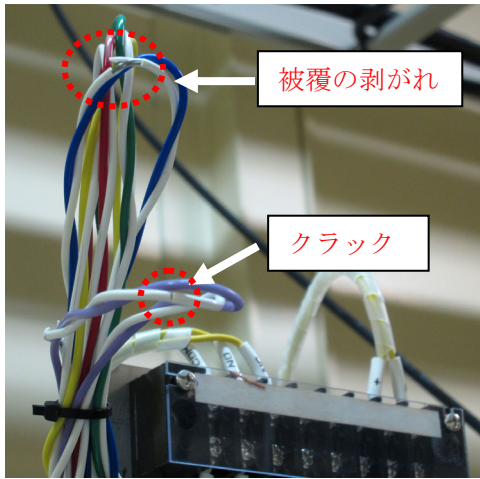


図2：劣化が生じたケーブルと敷設状況

2.3 劣化ケーブルの発生場所

図3は蓄積リング棟内実験ホール（非 X 線環境下）、図4は実験ハッチ内（X 線環境下）の画像である。ケーブルの劣化は、図2と3に記すAが高くB,C 順に劣化の度合いが低かった。X 線環境下より非 X 線環境のほうが劣化の度合いが高かった。又、C においては、高位置に敷設したケーブルに劣化が生じており、低位置に敷設したケーブルには劣化が生じていなかった。

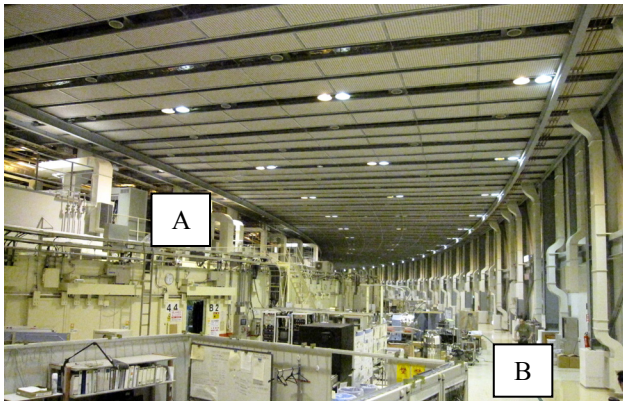


図3：実験ホール内

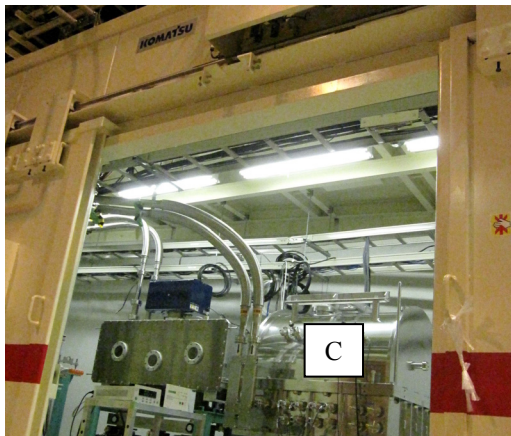


図4：光学ハッチ内

2.4 ケーブル状態調査

2009年と2010年にケーブルの外観、触診調査を行った。

2009年に実施した調査では、敷設後10年が経過した5式のビームラインインターロックシステムのケーブル被覆に劣化が発生していた。2010年に実施した調査でもケーブルの劣化が発見された。2010年に劣化が発見されたケーブルも建設後10年を経過した時期であった。

3. ケーブル劣化原因調査

ケーブル劣化の調査は、財団法人日本電気技術者協会[1]が提唱する、一般的なケーブルの劣化原因としてあげられる10項目の要因（表1）を基に調査を行った。

表1：一般的なケーブル劣化要因

1	電氣的要因（過電圧や、過電流）
2	電線内部への浸水（電氣的に劣化を起こす）
3	機械的的要因（衝撃、屈局、振動、捻回）
4	熱的要因（低温、高温による劣化）
5	化学的要因（薬品、ガス等による劣化）
6	光学的要因（X線、紫外線による劣化）
7	オゾン酸化付着（劣化）
8	動物や白蟻による食害
9	カビ等微生物による劣化
10	施工不良（接続処理、設置処理、外傷）

3.1 環境調査

SPring-8蓄積リング内は、年間を通して室温が一定に保たれている。敷設されたケーブルは、水、ガス、薬品、振動、衝撃等の影響は受けない。又、蓄積リング実験ホール内は動物、微生物等の発生を抑制する環境が保たれている。

又、テスター、オシロスコープ及びノイズログを用いて電氣的な影響調査を行ったが、過電圧及び過電流は検出されず、絶縁破壊も発生していなかった。これらのことからSPring-8実験ホール内の敷設環境において劣化要因1,2,3,8,9,10は、劣化要因ではないと推測した。

3.2 熱分析

物質の相転移・融解など熱の収支を伴う変化が起きた時の熱流を検出する示差走査熱量測定（DSC）検査を実施した。測定試料は、劣化が見られる白線ケーブルと劣化が見られない青線ケーブルの絶縁体である。

図5は、非劣化ケーブル絶縁体部、図6は、劣化がケーブル絶縁体部のDSC曲線データである。

白線ケーブルの方が青線ケーブルより非結晶温度が3度程度高いが100°C近郊に変曲点が生じており差異はなかった。この熱量は、絶縁部形成時に加えられた熱量であると推測している。SPring-8の設置環境から100°C以上の熱がくわえられることはない。

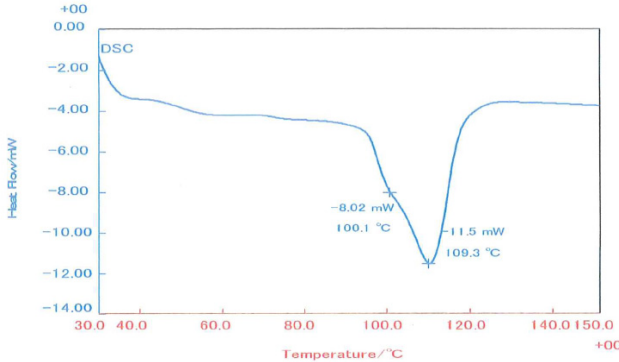


図5：青線芯DSC曲線

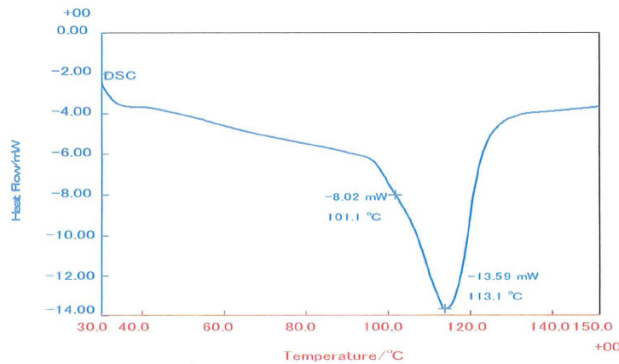


図6：白線芯DSC曲線

3.3 組成分析

絶縁体の組成分析をするためにフーリエ変換赤外分光 (FTIR) 検査を実施した。測定試料は、図2の劣化 (白線) ケーブルと非劣化 (青線) ケーブルの絶縁体部である。図7は、その測定結果である。

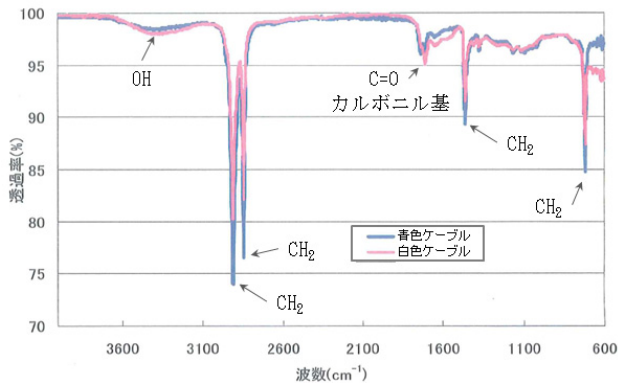


図7：ケーブル被覆のIRスペクトル

図7のデータから二つの試料は、一般的なポリエチレンの吸収ピーク (2900~2800 cm⁻¹近郊及び1400 cm⁻¹近郊吸収ピーク等) を示している。

図5、6及び7の測定は、社団法人電線総合センター[4]において実施されたものである。

しかし、1714cm⁻¹ (カルボニル基) 付近に吸収ピークが表れている。これは、何らかの原因でポリエチレン成分の一部が酸化していることを示している。又、カルボニル基の吸収ピーク部のみ白線ケーブルのピークが、青線ケーブルより大きい。これは白線ケーブルの酸化現象が進行していることを示している。

酸化現象は、オゾンもしくは紫外線の影響により発生[2][3]する。オゾンによる酸化現象が起きた場合、全てのポリエチレンケーブルに同様の現象が発生する。しかし、劣化は白線ポリエチレンケーブルの絶縁体のみが生じていた。このことからオゾンは劣化要因ではない。

3.4 光学的要因調査

野外10年間に相当する劣化促進試験[5]を表2に記す条件で行った。光源 (サンシャインメーター) は、一般的な野外光源を用いている。劣化促進試験の試料は、6色の顔料を含んだ低密度ポリエチレンである。

表2：試験条件

材質	低密度ポリエチレン (6 顔料)
耐候性試験	サンシャインウェザーメーター、63°、スプレーサークル 12/60 分
引張速度	100mm/分
段組設定	2 段組 幅: 82.5 mm, 段間: 5 mm

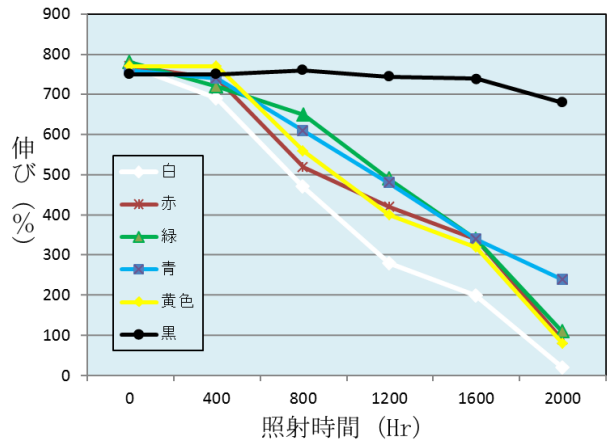


図8：顔料による耐候劣化の比較 (伸び)

伸びの絶対値が100%を下回ると亀裂が発生する可能性が生じる。図8は、劣化促進試験の結果である。

図8からポリエチレンに含んだ顔料によって耐候性に違いがあることがわかる。白色顔料を含んだポリエチレンは、耐候性に弱く、黒色顔料を含むポリエチレンは、耐候性を持っていた。

架橋ポリエチレンが耐候面で脆弱であることを示す文献[6][7]によると、製造時や使用過程で、アル

デヒド形やケトン形といわれる化学構造物を生じる。この化学構造物は 300nm~330nm 近辺の紫外線を吸収し、光増感作用でポリエチレンに化学変化（主鎖切断）を引き起こす。又、いったん化学変化が始まると、酸素の影響でアルデヒド形やケトン形の化学構造ができ、劣化が進んでいく[7]。

紫外線量を評価するために SPring-8 蓄積リング棟内実験ホールの紫外線環境の測定を図 3 及び 4 で示す A,B,C の 3 か所、野外及び蛍光灯（10W）で実施した。実験ホールの照明は、天井部にメタルハライドランプ（水銀灯）とナトリウムランプ、ハッチ内は蛍光灯となっており 24 時間ほぼ通年点灯されている。

紫外線測定は、コニカミノルタ社製 UV RAD10METER UM-10 を用いて実施した。測定した結果を表 3 に記す。

表 3 : SPring-8 紫外線量測定結果

測定場所（光源）	紫外線量平均値
A. ハッチ上部デッキ （メタルハライドランプ）	13.2 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
B. 実験ホール内通路 （メタルハライドランプ）	8.8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
C. ハッチ内 床上 0.5m （蛍光灯）	1.1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
C. ハッチ内 床上 1.5m （蛍光灯）	2.7 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
野外（太陽光） 2010 年 4 月 13 日 天候晴	3890 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
10W 蛍光灯 距離 0.15m （蛍光灯 1 灯）	約 15 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

測定場所 A,B,C の紫外線量と 2.2 項で記した劣化ケーブルの発生場所との関係は、一致する。

上記の考察により紫外線が劣化の主要因であることがわかった。

4. 対策

ビームラインインターロックシステムではポリエチレンケーブル数約 10000 本（ケーブル総長は約 400km）使用しており、SPring-8 を運用しつつ全てのケーブル交換を実施することは、困難であった。又、インターロックで使用するケーブル以外にもポリエチレンケーブルは、SPring-8 蓄積リング棟（外周 1.6km ドーナツ状建屋）実験ホール内に存在した。

そこで、我々は、劣化ケーブルの除去と環境面での改善を施こした。

4.1 劣化ケーブルの除去

ビームラインケーブルに対して劣化の可能性があ

ると推測されるケーブルを切断し除去した。新たに紫外線対策を施したケーブルを製作し、敷設を行った。対策内容を図 9 に示す。

ビームラインインターロックシステム 38 式約 10000 点の信号線に対して加工を施した。

4.2 環境改善

抜本的な対策をするには、紫外線を発生させない光源の導入が必要である。そこで、照明光源の変更を行うことにした。現在、実験ホール内の照明を UV カット機能を有する蛍光灯、メタルハライドランプに交換しつつある。交換物品数は、蛍光灯約 800 本、メタルハライドランプ 720 台となる。

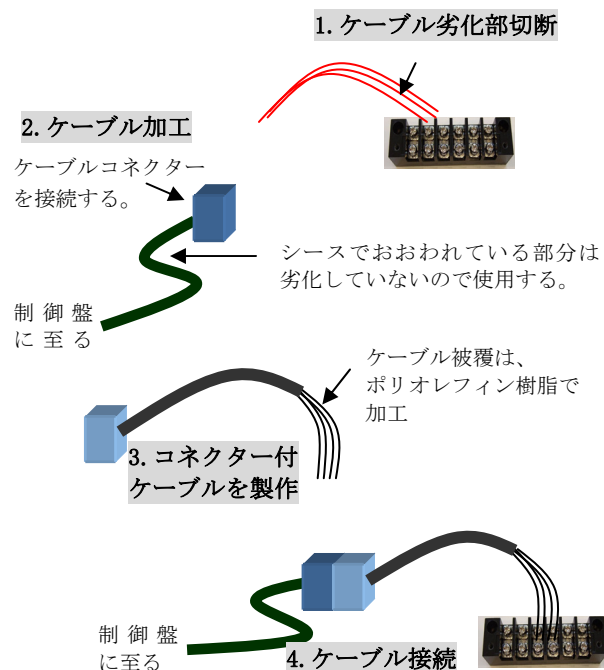


図 9: インターロックケーブルの紫外線対策

5. まとめ

約 10 年間使ってきた架橋ポリエチレンケーブルの被覆には、剥がれ、クラック等の劣化が発生していた。

ケーブル劣化要因調査の結果、紫外線強度の強い場所とケーブル劣化の激しい場所は、一致していた。FTIR 測定の結果からも、ポリエチレンの酸化現象を示すカルボニル基の吸収ピークが見つかった。ケーブル劣化の進行レベルとポリエチレンの顔料との間には相関があった。これらのことから紫外線によってケーブル劣化が発生していると判断した。

ポリエチレンは、室内照明から発生する紫外線に 10 年間 365 日 24 時間照射されると劣化することが判った。

SPring-8 蓄積リング棟実験ホール内では、対策として劣化ケーブル除去及び紫外線量の削減対策を実施している。又、定期的にケーブル検査を実施しているが、問題は発生していない。

参考文献

- [1] <http://www.jeea.or.jp/course/contents/04201/>
- [2] 北森浩通, 田中伸幸, 畑千登, 高木光司, ‘カルボニル基分布によるポリエチレンの寿命予測’, ‘パナソニック電工技報 Vol. 58 No. 1’
- [3] 宮川栄一, ‘高分子材料の劣化と物性に及ぼす影響 寿命予測のポイント’, 技術情報協会講演会資料 2010年8月24日
- [4] <http://www.jectec.or.jp/profile/index.html>
- [5] ‘促進暴露試験ハンドブック [I] 促進耐候性試験’, 財団法人日本ウエザリングテストセンター, 2009年4月
- [6] 高岸宗吾, ‘太陽光及び蛍光灯に暴露されるポリエチレン被覆電線’, 電設工業誌, 1996年6月号
- [7] 長谷部守邦, ‘蛍光灯の光はポリエチレン被覆電線の大敵’, 電設工業誌, 1996年6月号
- [8] Stephen W. Bigger, Oskar Dekatycki, ‘The effects of pigment on the photostability of polyethylene’, ‘Journal of Materials Science’, Volume 24, Number6, 1946-1952
- [9] <http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g81127c07j.pdf>
- [10] 内線規程 (JEAC8001-1995 版)
- [11] ‘電線が泣いている 2 ポリエチレン被覆にヒビをこらせる蛍光灯’, 財団法人日本電線工業会 技術部 絶縁電線専門委員会発行, Vol. 37, No. 7, Page70-72
- [12] ‘電線・ケーブルの耐用年数について’, 社団法人日本電線工業会, 技術資料第107号
- [13] 大武義人, ‘腐食と劣化 (6) 合成樹脂 (ゴム・プラスチック) の劣化評価・分析手法’, 空気調和・衛生工学 P69 第80巻第1号