（別添６）

# 4 号機原子炉建屋における火災

原子力規制庁原子力規制部
東京電力福島第一原子力発電所事故対策室　佐藤　雄一
原子力規制庁原子力規制部専門検査部門
（前　福島第一原子力規制事務所）　坂中　伸次

## １．検討目的

東京電力ホールディングス株式会社が平成 24 年 6 月に公表した福島原子力事故調査報告書によると、2011 年 3 月 15 日に 4 号機原子炉建屋 3 階北西コーナー付近で火災が発生していることが確認され、また、同年 3 月 16 日には 4 号機原子炉建屋 4 階北西部付近で炎が上がっていることが確認されている。

これらの火災については、火災当時に原子炉建屋外から撮影された画像や 2013 年 7 月に東京電力ホールディングス株式会社が撮影した 4 号機原子炉建屋 4 階内部の画像が公表されているにとどまっている。

今般、4 号機原子炉建屋内の調査を行っている中で、火災発生箇所の特定等に寄与する情報を得たため、関連情報とともに整理した。

## ２．調査方法

2011 年 3 月 15 日及び 16 日の 4 号機原子炉建屋での火災に関してこれまでに公表されている情報を整理するとととともに、現地にて現時点での火災の痕跡の有無等を調査した。

## ３．これまでに公表されている情報

（１）福島原子力事故調査報告書[1]

東京電力ホールディングス株式会社が平成 24 年 6 月に公表した「福島原子力事故調査報告書」には、4 号機原子炉建屋内の火災について、以下の記載がある。（括弧内の記載は、文章をわかりやすくするために加筆した内容である。）

① 本文 p204～205

（2011 年 3 月）15 日 9 時 38 分には（4 号機）原子炉建屋 3 階コーナー付近で火災が発生していることが確認されたが、同日 11 時頃、自然に火が消えていることを確認した。また、（2011 年 3 月）16 日 5 時 45 分頃にも、原子炉建屋 4 階北西部付近で炎が上がっているとの連絡があったが、同日 6 時 15 分頃、現場で火は確認できな

[1] https://www.tepco.co.jp/cc/press/2012/1205628_1834.html

かった。

② 別紙 2　p111～112

平成 23 年 3 月 15 日（火）

9:38　4 号機の原子炉建屋 3 階北西コーナー付近より火災が発生していることを確認、9:56 官庁等に連絡

11:00 頃　4 号機の原子炉建屋の火災について、当社社員が現場確認をしたところ、自然に火が消えていることを確認、11:45 官庁等に連絡

③ 添付資料　添付５－７（１０／１１）

2011 年 3 月 15 日（火）

10 時 50 分プレス発表

福島第一 4 号機建屋損傷（第二報）

・9:38 頃 4 階北西部付近にて出火を確認

13 時 15 分プレス発表

福島第一 4 号機建屋損傷（第三報）

・11 時頃、自然鎮火確認

（２）異常事態連絡様式[2]

福島第一原子力発電所長から経済産業大臣、福島県知事、大熊町長、双葉町長あてに通報されている「異常事態連絡様式」には、4 号機原子炉建屋内の火災について、以下の記載がある。

① 第 15 条－76 報（平成 23 年 3 月 15 日 9 時 56 分発信）

4 号機原子炉建屋 3 階北西コーナー付近より火災が発生していることを、9 時 38 分確認したことから、消防へ連絡致します。

② 第 15 条－78 報（平成 23 年 3 月 15 日発信（発信時刻未記載））

先に 76 報でご連絡した火災の件について原子炉建屋 4 階北西には原子炉建屋再循環電動機駆動装置（油入り）が設置されております。現在米軍及び自衛隊による消火活動が行われる予定です。

③ 第 15 条－79 報（平成 23 年 3 月 15 日 11 時 45 分発信）

先に連絡した 4 号機原子炉建屋火災について、当社社員が現場確認したところ、自然に火が消えていることを確認しました。(11 時頃)

④ 第 15 条－83 報（平成 23 年 3 月 16 日発信（発信時刻未記載））

3/16　5 時 45 分に、当社の社員が、4 号機原子炉建屋 4 階北西付近から炎が上がっていることが確認されました。昨日確認された場所と同じエリアです。今後消防へ連絡します。

[2] https://www.nra.go.jp/activity/bousai/trouble/gensai_25/archive_nisa/plant-1-2303.html

⑤ 第 15 条－84 報（平成 23 年 3 月 16 日 7 時 57 分発信）

先に連絡した福島第一 4 号機原子炉建屋からの火災について、消防へ連絡し、消火準備中です。

⑥ 第 15 条－85 報（平成 23 年 3 月 16 日 8 時 13 分発信）

先に連絡した 4 号機原子炉建屋の火災の続報です。当社社員が 6 時 15 分に再度見に行ったところ、火を確認することができませんでした。

（３）東京電力株式会社福島第一原子力発電所によるプレス発表資料[3]

東京電力株式会社福島第一原子力発電所からプレス発表されている資料には、4 号機原子炉建屋内の火災について、以下の記載がある。

① 福島第一原子力発電所 4 号機原子炉建屋の損傷の確認について（第二報）（平成 23 年 3 月 15 日）

本日午前 6 時頃、発電所内で大きな音が発生しました。その後、4 号機原子炉建屋 5 階屋根付近に損傷を確認しました。（お知らせ済み）

その後、4 号機の現場の状況を確認していたところ、9 時 38 分頃、原子炉建屋 4 階北西部付近に出火を確認しました。ただちに消防署、地元自治体へ通報するとともに、原子力安全・保安院を通じて関係各所へ連絡し、鎮火活動に努めております。

② 福島第一原子力発電所 4 号機原子炉建屋の損傷の確認について（第三報）（平成 23 年 3 月 15 日）

（上記①と同じ記載の後に）午前 11 時頃、当社社員が現場確認をしたところ自然に火が消えていることを確認しました。

③ 福島第一原子力発電所 4 号機における火災の発生について（平成 23 年 3 月 16 日）

本日午前 5 時 45 分頃、4 号機の中央制御室にバッテリーを運んでいた当社社員が、中央制御室から戻る際に、原子炉建屋北西部付近から炎が上がっていることを確認しました。ただちに消防署、地元自治体へ通報するとともに、関係各所へ連絡し、消火活動に努めております。

④ 福島第一原子力発電所 4 号機における火災の発生について（第二報）（平成 23 年 3 月 16 日）

（上記③と同じ記載の後に）同日午前 6 時 15 分頃、当社社員が再度現場確認をしたところ、火は確認できませんでした。

（４）原子力安全に関するＩＡＥＡ閣僚会議に対する日本国政府の報告書[4]

2011 年 6 月に日本国政府からＩＡＥＡ閣僚会議に報告された報告書には、4 号機原

[3] https://www.tepco.co.jp/cc/press/index1103-j.html
[4] https://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/iaea_houkokusho.html

子炉建屋の火災について、以下の記載がある。（括弧内の記載は、文章をわかりやすくするために加筆した内容である。）

① pⅣ-76～77

（2011 年）3 月 15 日 6 時頃に、（4 号機）原子炉建屋において水素爆発と思われる爆発が発生し、オペフロ 1 階下から上部全体と西側と階段沿いの壁面が損壊した。さらに（同日）9 時 38 分には（4 号機）原子炉建屋 4 階北西付近で火災が発生していることが確認されたが、東京電力では、（同日）11 時頃、自然に火が消えていることを確認した。（同年）3 月 16 日 5 時 45 分頃にも、（4 号機）原子炉建屋 3 階北西付近で火災が発生しているとの連絡があったが、（同日）6 時 15 分頃、東京電力は、現場での火災は確認できなかったとした。

② pⅣ-79

3/15

9:38　（4 号機）原子炉建屋 3 階北西コーナー付近より火災発生確認、消防へ連絡米軍及び自衛消防隊による消火活動実施予定

11:00 頃　原子炉建屋火災について現場確認したところ、自然に火が消えていることを確認

3/16

5:45　4 号機原子炉建屋 4 階北面付近より炎が上がっているのを確認
消防へ連絡, 消火準備中

6:15　原子炉建屋火災の再確認をおこなったところ、火は確認できず

（５）東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会　最終報告[5]

東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会（政府事故調）の最終報告の中に、4 号機原子炉建屋の損傷状況（2011 年 3 月 27 日に防衛省が撮影したもの）が掲載されている。（図１）

[5] https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/icanps/post-2.html

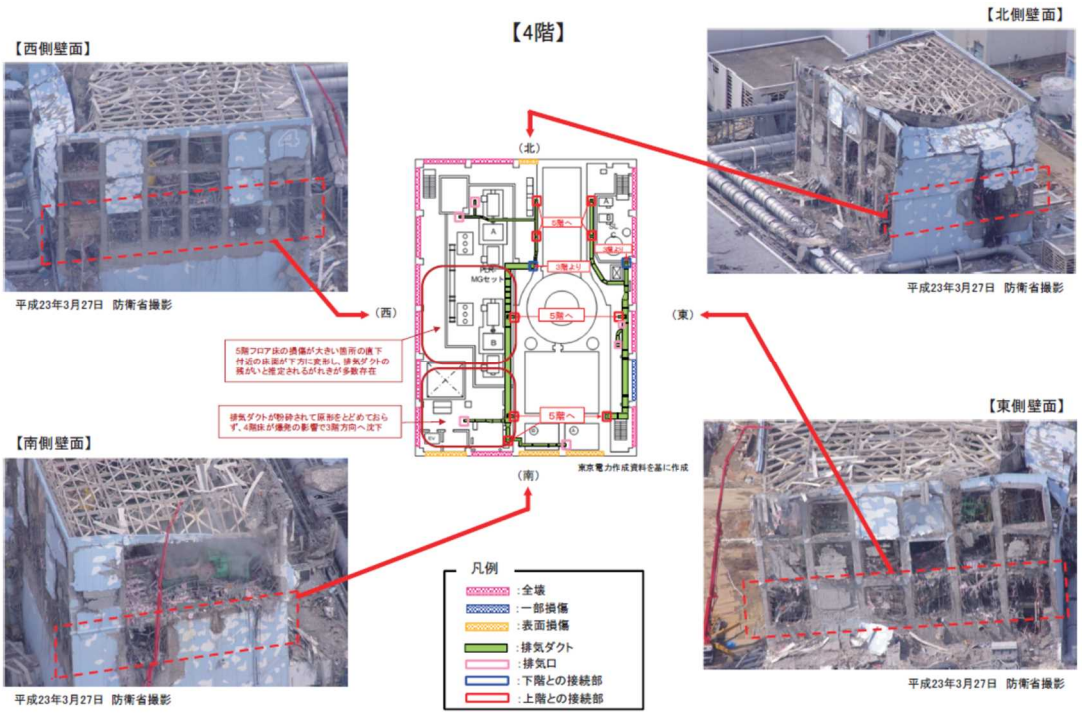



図１　４号機原子炉建屋の損傷状況[6]

（６）火災当時に撮影された画像

2011 年 3 月 15 日に 4 号機原子炉建屋及びその周辺を撮影した画像が複数ある。



図２　2011 年 3 月 15 日の 4 号機原子炉建屋の状況（その１）[7]

6 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会　最終報告　資料Ⅱ-2-10

7 東京電力ホールディングス株式会社提供資料（2011 年 3 月 15 日撮影画像）



**図３　2011 年 3 月 15 日の 4 号機原子炉建屋の状況（その２）**[8]

（７）東京電力ホールディングス株式会社による公表資料

東京電力ホールディングス株式会社のホームページに掲載されている資料のうち、4 号機原子炉建屋内の状況を示しているものとして、以下の資料がある。

① 2013 年 5 月 23 日提出資料[9]（4 号機原子炉建屋、2011 年 11 月 8 日）

② 2013 年 7 月 17 日提出資料[10]

今回は、上記の資料のうち、4 号機原子炉建屋 4 階北西部付近の状況を示している写真（図４）を抽出し、検討を行った。

[8] https://photo.tepco.co.jp/date/2011/201103-j/110316-01j.html
[9] https://www.nra.go.jp/data/000384211.pdf
[10] https://www.tepco.co.jp/decommission/information/submission/pdf/130717.pdf




**図４　東京電力ホールディングス株式会社による公表資料**
**（2013 年 7 月 17 日提出資料から抜粋）**

## ４．調査結果

（１）これまでに公表されている情報に基づく検討

火災の発生箇所について、３．（１）及び（２）では、2011 年 3 月 15 日に確認された火災は 4 号機原子炉建屋 3 階で生じたとの記載もあるが、当該情報の後の情報や３．（３）及び（４）では、火災は 4 号機原子炉建屋 4 階北西部付近で生じたものであるとされている。そのため、３．（１）～（４）の情報を踏まえると、2011 年 3 月 15 日及び 16 日に確認された火災は、いずれも 4 号機原子炉建屋 4 階北西部付近で生じたものと考えられる。

３．（５）では、東西南北方向ともに、爆発によるものと思われる外壁の損傷は確認できるが、焦げ痕や煤の付着といった燃焼の痕跡は、明確に確認することはできなかった。

３．（６）の２枚の画像は、撮影時間、撮影角度が異なっているようであるが、いずれの画像も 4 階北西部付近の壁が抜けているように見える。

３．（７）では、再循環ポンプ電動発動機（MG セット）(A)本体を北西側（図４の①及び④）及び北東側（図４の②及び③）から外観を確認した。その結果、MG セット(A)本体には燃焼した痕跡は確認できなかった。また、図４の③では、MG セット(A)の下部構

造の周囲に資機材等が燃焼した痕跡を確認した。

（２）現地調査に基づく検討

現地では、4 号機原子炉建屋 4 階北西部付近の各所について調査を行った。その結果は以下のとおり。

① 天井及び天井付近

4 号機原子炉建屋 4 階北西部付近の天井及び天井付近の壁の状況を図５に示す。

天井及び天井付近の壁を確認した結果、焦げ痕や煤の付着などの燃焼の痕跡は確認できなかった。

なお、天井付近や天井には模様があり、煤が付着したことにより生じたものである可能性を考え、できる限り天井に近づいて目視にて確認した結果、煤ではなく、カビのようなものではないかということを確認した。




**図５　天井及び天井付近の状況**

② 柱

4 号機原子炉建屋 4 階にある MG セット(A)の北西側にあるコンクリートの柱の状況を図６に示す。

この柱の一部には、熱の影響によると思われる変色及び塗装の一部剥離が生じていることを確認した。




図６　柱の状況

③ MG セット(A)の北側（MG セット(A)本体及び下部構造（外側））

4 号機原子炉建屋 4 階にある MG セット(A)の北側の状況を図７に示す。

MG セット(A)の北東側には、養生材等が燃焼、溶融した痕跡が MG セット(A)の下部構造に寄りかかるように堆積していることを確認した。（図７の左上の画像）

MG セット(A)の下部構造の東側の壁面には、楕円状に塗装部分がなくなっている部分があり、当該部分が熱の影響を受けていることを確認した。（図７の右上の画像）

MG セット(A)の下部構造の東側の壁面下部付近に見える白い物は養生材等の燃え残りであると考えられ、MG セット(A)の下部構造の壁面に接して燃え残っていることを確認した。（図７の右上の画像）

MG セット(A)の下部構造の北側にある MG セット(A)の支持構造物は、下部構造に近い側は塗装がなくなって錆びているが反対側は塗装が残っており、MG セット(A)の下部構造側から熱の影響を受けていることを確認した。（図８）

MG セット(A)本体は、塗装が残っており、燃焼した痕跡は確認できなかった。（図７の左下及び右下の画像）

これらのことから、MG セット(A)本体の東側から熱を受けて、そこに置いてあった養生材等が燃えたものと考えられ、MG セット(A)本体は燃焼していないことを確認した。

また、MG セット(A)の下部構造の壁面に接して燃え残っているものは、図７の右上の画像で一部原形を保っている物もあるため、難燃または不燃性能を有していたのではないかと思われる。どのような状況でどのくらいの量が現場に置かれていたかなどの状況にもよるが、養生材等全てを燃焼、溶融させるほどの熱量はなかったものと考えられる。

なお、これらの状況は、３．（７）で示した東京電力ホールディングス株式会社による公表資料の画像とも整合している。

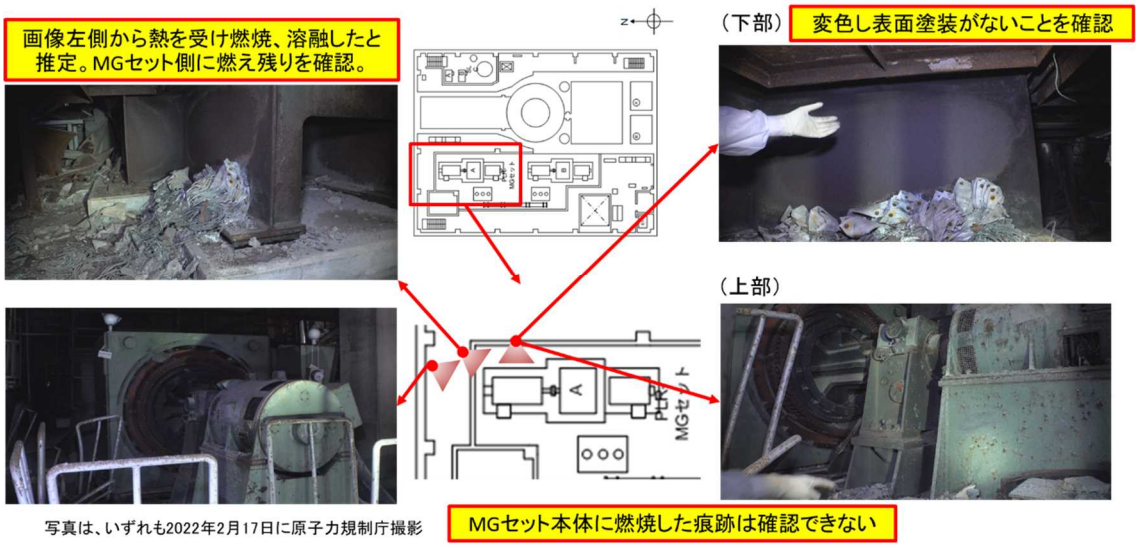



図７　MG セット(A)の北側の状況



2022 年 2 月 17 日原子力規制庁撮影

図８　MG セット(A)の支持構造物の状況

④ MG セット(A)の北側（MG セット(A)の下部構造（内側））

4 号機原子炉建屋 4 階にある MG セット(A)の北側の下部構造の内側の状況を図 9 に示す。

下部構造の内側のうち、左右の壁面は外側の壁面と同様に楕円状に塗装部分がなくなっており、当該部分が熱の影響を受けていることを確認した。（図 9 の右上及び右下の画像）

また、下部構造の内側のうち、上部と正面には燃焼によると思われる変色がなく、塗装が残っていることを確認した。（図９の左上及び左下の画像）

これらのことから、MG セット(A)の下部構造の内部では、熱の影響は外側から受けているが燃焼は起きていなかったと考えられる。

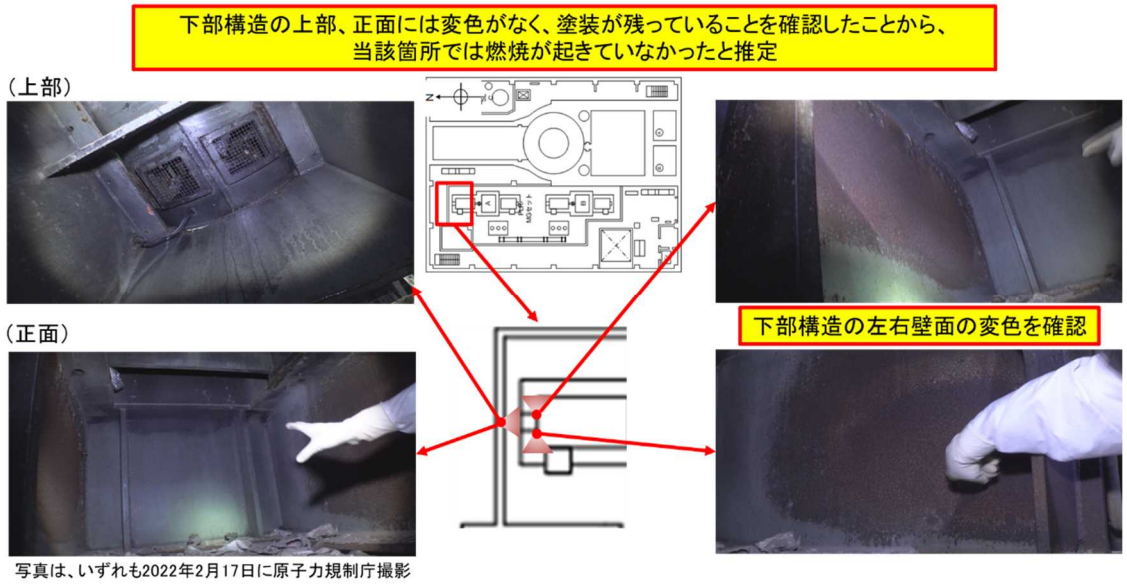



**図９　MG セット(A)の北側の下部構造（内側）の状況**

⑤ MG セット(A)の北西側

4 号機原子炉建屋 4 階にある MG セット(A)の北西側の状況を図１０～１２に示す。

MG セット(A)の北西側にあるホースの損傷状況を確認した結果、左側のホースは被覆部分が熱によって激しく損傷して焼失している（図１０の上及び左下の画像）が、右側のホースは表面が若干変形して溶融している程度であり（図１０の上及び右下の画像）、左側のホースのほうが熱の影響をより多く受けていることを確認した。

このようなホースの焼損、損傷状況から、ホースとホースの間、左側のホースに近い位置に火点があったのではないかと考えられる。

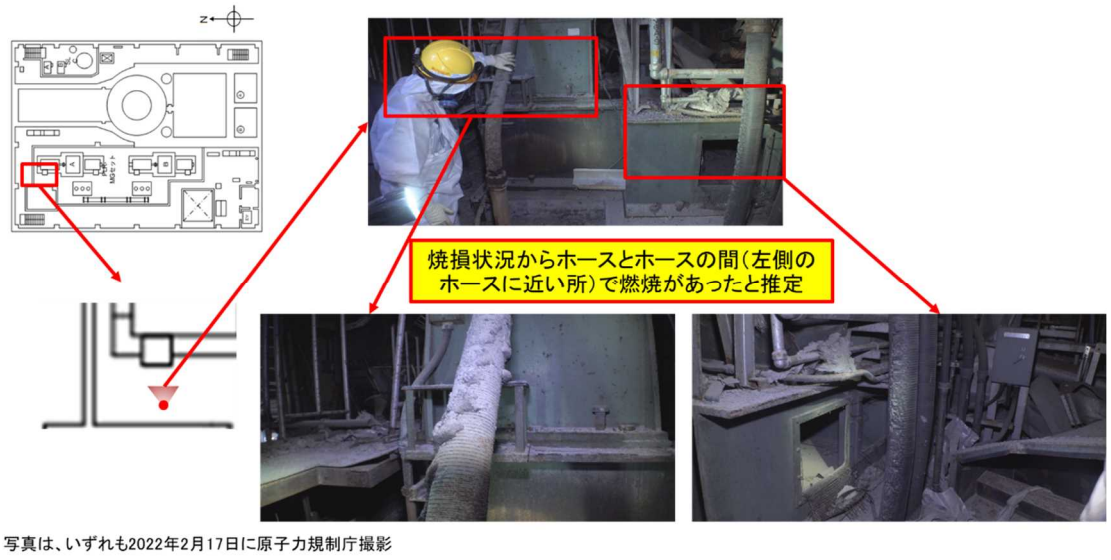
MG セット(A)の下部構造の西側には、楕円状に変色していることを確認した（図１１の左上及び左下の画像）。

このようなホースの焼損、損傷状況から、この付近で一番激しい燃焼があったと考えられる。

MG セット(A)の北西側のコンクリートの基礎部分は、コンクリートの被覆部分が熱の影響により剥離していることを確認した（図１１の右上及び右下の画像）。また、この近辺の床面には炭化物及び燃え残りがあることを確認したが、４．（２）③に示したような MG セット(A)の北東側に燃え残っていた養生材等のように原形をとどめている物

は確認できなかった。これらのことから、この付近の養生材等は激しく燃焼してほぼ燃え尽きてしまったものと考えられる。

MG セット(A)の北西側の最も損傷が大きかったホースの内部を確認した結果、ケーブルが溶融していることを確認した（図１２の左下及び右下の画像）が、ケーブルの一部は原形をとどめていることを確認した（図１２の左下の画像）ことから、この部分は、内部から燃焼したのではなく外部からの熱により燃焼したものと考えられる。



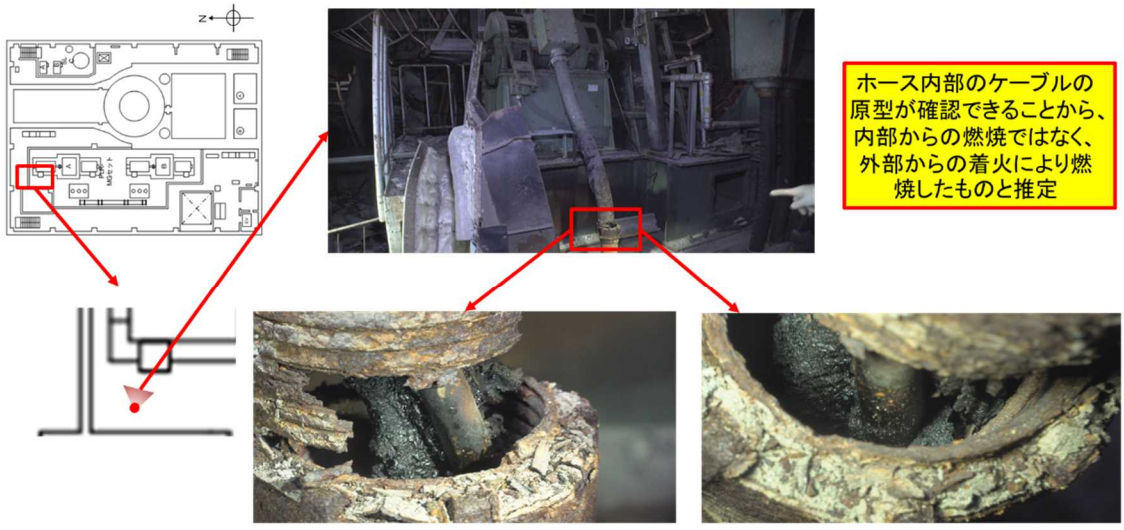

写真は、いずれも2022年2月17日に原子力規制庁撮影

図１０　MG セット(A)の西側（下部構造及びホース）の状況




写真は、いずれも2022年2月17日に原子力規制庁撮影

図１１　MG セット(A)の西側（下部構造及びコンクリート基礎）の状況




写真は、いずれも2022年2月17日に原子力規制庁撮影

図１２　MG セット(A)の西側（ホース内部）の状況

## ５．調査結果を踏まえた考察

４．の調査結果を踏まえて考察した結果は以下のとおり。

① MG セット(A)北東側の下部には養生材などの燃焼痕跡があることを確認したが、上部構造の外周部には燃焼痕跡は確認できなかった。

② MG セット(A)の下部構造内のうち、左右の壁面には燃焼痕跡があることを確認したが、正面及び上部には燃焼痕跡は確認できなかった。また、MG セット(A)の北西側にあるホースとホースの間に燃焼痕跡があることを確認した。

③ これらのことから、4 号機原子炉建屋 4 階北西部付近で生じた火災は、水素爆発により室内の温度が瞬間的に上昇して MG セット(A)周辺の資機材等が燃焼したことにより生じたと考えられる。これらの燃焼が全て連続していたのか、それぞれが離れた状態で燃焼したのかは、置かれていた資機材等の状況にもよるが、この辺は一体になって燃焼したと思われる。

④ 熱の影響の強さは、置かれていた資機材等の性状によって影響の受け方が違ったと考えられる。

⑤ 燃焼は瞬間的、局所的に発生したものと考えられる。

⑥ 燃焼は、MG セット(A)の周囲で大きく 3 箇所（MG セット(A)の東側、西側、北西側の柱付近）で生じていたと考えられ、MG セット(A)の西側の燃焼が最も激しかったと考えられる。

## ６．今後の検討事項

今回は、これまでに公表されている情報及び現場での確認結果を踏まえて、火災の発生源やその様相等を考察した。

火災の発生源やその様相等については、現場に残されている燃え残り物などを分析することによって、さらに判明する事項もあると考えられるため、引き続き検討を行う。

（別添７）

# 可燃性有機ガスの発生源の検討

原子力規制庁原子力規制部
東京電力福島第一原子力発電所事故対策室　木原　昌二

## １．背景及び目的

2021 年 3 月の中間取りまとめ[1]においては、1 号機及び 3 号機原子炉建屋の水素爆発時に観測された火炎の色並びに 3 号機の原子炉建屋から上昇する噴煙の確認から、火炎と噴煙が同時に複数箇所で確認されること、噴煙と破片等が比較的同じ速度で上昇するなどの特徴があり、水素だけではなく、（可燃性）有機化合物が相当量存在していることが示唆された。これは、3 号機の水素爆発時点の原子炉建屋内部の雰囲気は、水素、（可燃性）有機化合物、水蒸気及び空気の混合したものではないかとの推定から、炉心損傷等による原子炉格納容器（PCV）内の高温状態によって、PCV 内で水素とともに可燃性有機化合物が発生し、原子炉建屋内に放出、漏えいしたことによるものと考えられた。

調査チームは、PCV 内でこれらの可燃性有機化合物の発生源となる物質の検討を行うため、PCV 内で使用されているケーブル、保温材、塗料等（以下、「ケーブル等」という。）の設置状況を確認することとし、現地調査が可能な 5 号機 PCV 内の調査[2]を行った。更に、設置状況の比較検討のため、中国電力株式会社及び日本原子力発電株式会社の協力の下、島根原子力発電所 1 号機（以下、「島根 1 号機」という。）及び敦賀発電所 1 号機（以下、「敦賀 1 号機」という。）における PCV 内のケーブル等の設置状況を確認する現地調査[3]を実施した。

東京電力では、3 号機 PCV 内で使用されているケーブル等の調査及び 3 号機 PCV 内の温度情報の調査[4]を行うとともに、これらケーブル等の同材品及び類似品の試料を収集した。

調査チーム及び東京電力は、水素爆発時の原子炉建屋内の雰囲気ガス組成の推計を行うため、PCV 内で使用されているケーブル等の試料の加熱試験を行い、高温条件下の PCV 内で発生しうる可燃性有機ガスの組成及び発生量の検討を行うこととした。

---

1 東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ～2019 年 9 月から 2021 年 3 月までの検討～　2021 年 3 月 5 日　東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会
2 東京電力福島第一原子力発電所 5 号機原子炉格納容器内調査（2022 年 2 月 18 日、2021 年 8 月 17 日）
3 中国電力（株）島根原子力発電所 1 号機原子炉格納容器内調査（2022 年 2 月 22 日）
日本原子力発電（株）敦賀発電所 1 号機原子炉格納容器内調査（2022 年 4 月 8 日）
4 事故分析検討会　第 22 回会合　資料 5-1「有機化合物を含む可燃性ガスの発生源に関する過去の調査結果から得られた情報について」（2021 年 9 月 14 日東京電力ホールディングス株式会社）

ケーブル等の加熱試験にあたっては、東京電力の協力の下、東京電力が収集した試料の提供を受け、JAEA において BWR 格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析（以下、「JAEA ケーブル・保温材加熱試験」という。）を実施するとともに、東京電力においてもケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（以下、「東京電力ケーブル等加熱試験」という。）を実施している。

## ２．検討結果

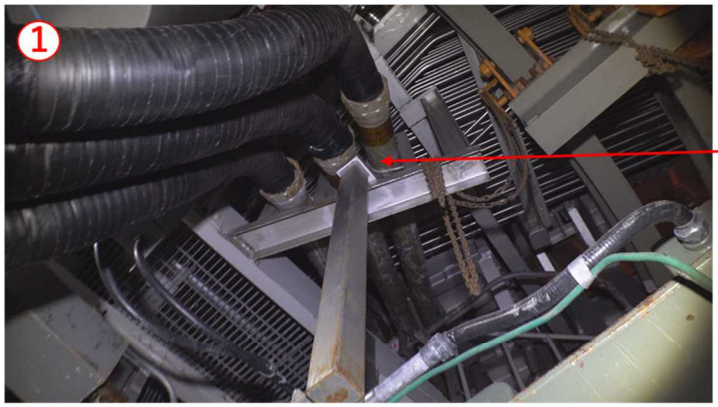
### （１）原子炉格納容器内のケーブル等の設置状況の調査

調査チームが行った 5 号機の PCV 内調査では、可燃性有機化合物の発生源となると考えられる物質として、原子炉圧力容器の保温材・断熱材、配管の保温材、制御棒駆動機構の制御ケーブル・ポンプ等の電源ケーブル、PCV 内側の塗料などが確認された。特に、ケーブルや保温材等は PCV 内の使用量も多く、可燃性有機ガスの発生源となると考えられた。

調査した範囲内においてもこれらのケーブル等は、PCV 内の設置位置によって東京電力福島第一原子力発電所事故時にさらされた温度環境に差があったものと考えられる。

調査チームは、さらに PCV 内のケーブル等の設置状況の比較検討のため、5 号機の他、島根 1 号機及び敦賀 1 号機における現地調査を行い、PCV 内でのケーブル等の設置状況の把握を行った。その結果、可燃性有機ガスの発生源として、原子炉再循環ポンプモーターの潤滑油の可能性も示唆された。

福島第一 5 号機、島根 1 号機及び敦賀 1 号機における現地調査の状況は、図 1 ～ 20 のとおりである。




**福島第一５号機**

**再循環ポンプ動力ケーブル**
接続箱及び電線管内のため
外部から確認不可

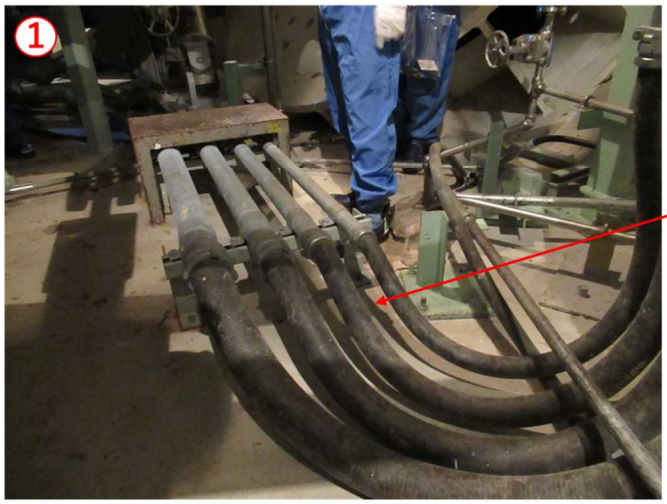
2022年2月18日原子力規制庁撮影




**島根１号機**

**再循環ポンプ動力ケーブル**
接続箱及び電線管内のため
外部から確認不可

2022年2月22日原子力規制庁撮影




**敦賀１号機**

**再循環ポンプ動力ケーブル**
接続箱及び電線管内のため
外部から確認不可

2022年4月8日　原子力規制庁調査時に
日本原子力発電により撮影。

図１　再循環ポンプ動力ケーブル（CV ケーブル）の設置状況

CVケーブル（Cross-linked polyethylene insulated Vinyl sheath cable）

用　途：高圧動力用ケーブルに使用

絶縁体：架橋ポリエチレン

シース：難燃性特殊耐熱ビニル

原子炉格納容器内総量：約３トン

（1F3物量不明のため、他プラントの使用実績を適用）※

※東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会
第29回資料１－２等から引用

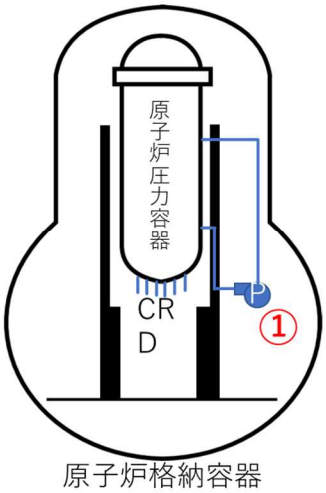



**図２　再循環ポンプ動力ケーブル（CV ケーブル）の仕様等**

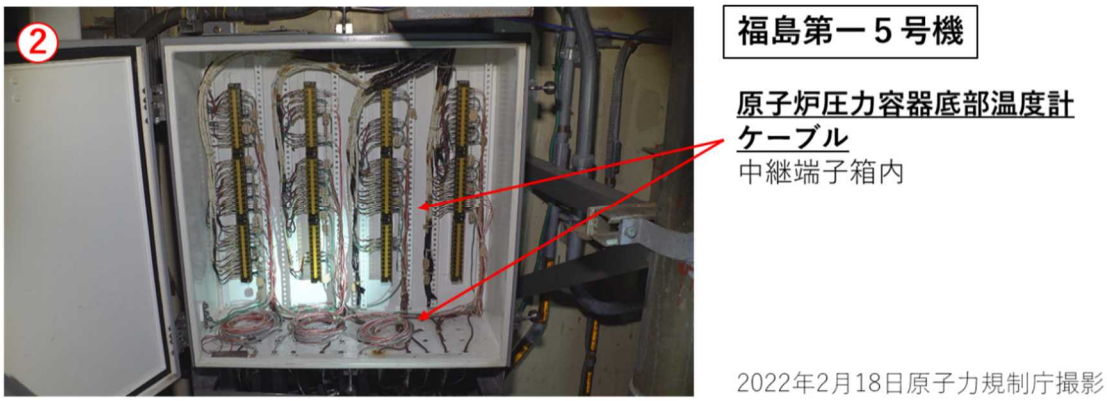



図３　原子炉圧力容器底部温度計ケーブル（PN ケーブル）の設置状況

PNケーブル（ethylene-Propylene insulated Neoprene(chloroprene)-sheathed cable）

用　途：制御・計装ケーブルに使用

絶縁体：難燃性エチレンプロピレンゴム

シース：特殊クロロプレンゴム

原子炉格納容器内総量：約０．１トン

（ペデスタル部に施工されているケーブル総量）※

※東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会
第29回資料１－２等から引用

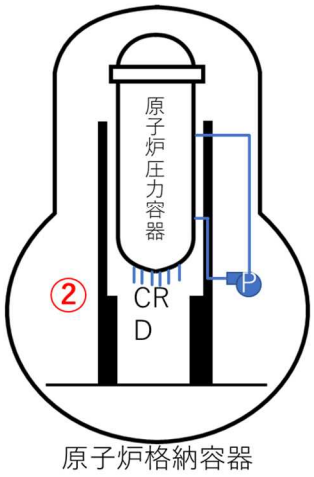
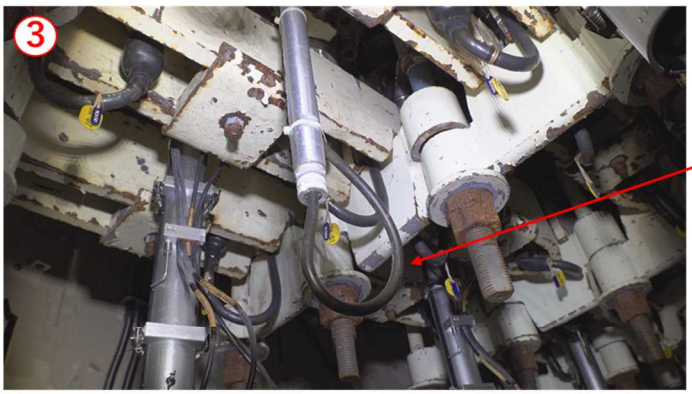


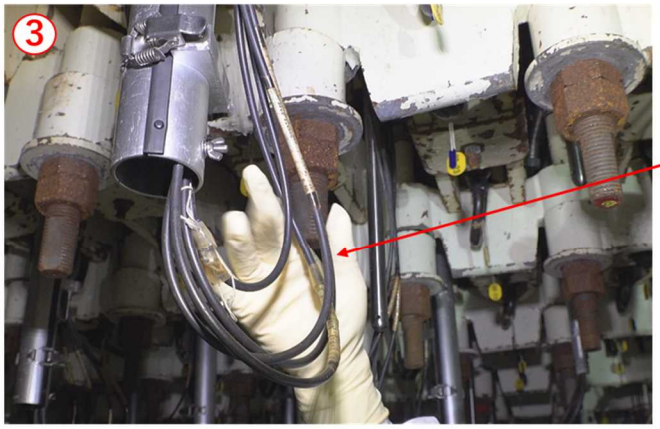

図４　原子炉圧力容器底部温度計ケーブル（PN ケーブル）の仕様等




福島第一５号機

SRNMケーブル
ペデスタル内RPV下部

2022年2月18日原子力規制庁撮影




福島第一５号機

LPRMケーブル
ペデスタル内RPV下部

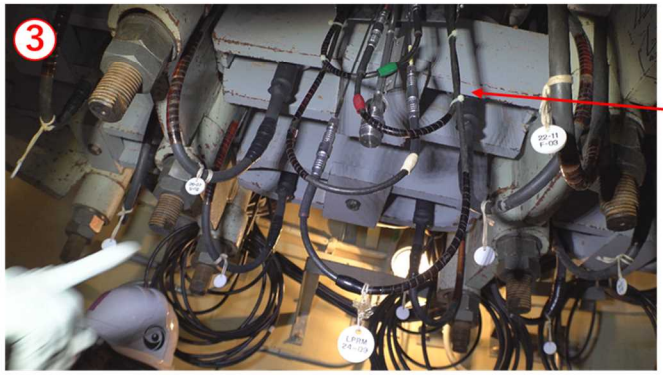
2022年2月18日原子力規制庁撮影




島根１号機

SRNMケーブル
ペデスタル内RPV下部

2022年2月22日原子力規制庁撮影




島根１号機

LPRMケーブル
ペデスタル内RPV下部

2022年2月22日原子力規制庁撮影

図５　SRNM/LPRM ケーブル（同軸ケーブル）の設置状況

同軸ケーブル

用　途：SRNM/LPRMケーブルに使用

絶縁体：ETFE／架橋ポリエチレン

シース：難燃性架橋ポリエチレン

原子炉格納容器内総量：約０．３２トン

（ペデスタル部に施工されているケーブル総量）※

※東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会
第29回資料１－２等から引用

SRNM：起動領域モニタ（8ch）　総長：約300m、総重量：約90kg

LPRM：局部出力領域モニタ（124ch）　総長：約3800m、総重量：約230kg

ETFE：Ethylene tetrafluoroethylene　熱可塑性樹脂で、テトラフルオロエチレン（C2F4）とエチレン（C2H4）の共重合体

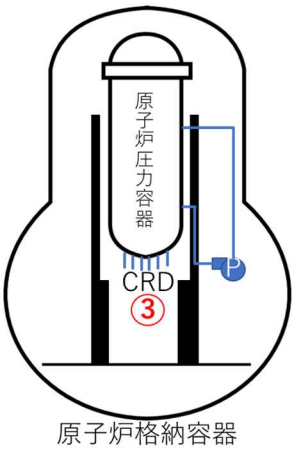
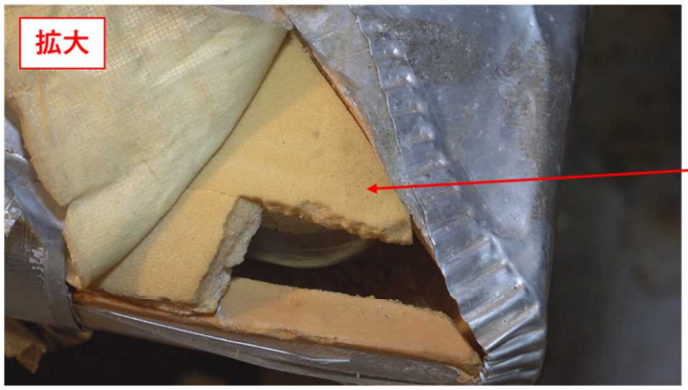



**図６　SRNM/LPRM ケーブル（同軸ケーブル）の仕様等**




福島第一５号機

原子炉補機冷却水系配管保温材
（保温材カバー内）
ウレタン保温材

2022年2月18日原子力規制庁撮影




福島第一５号機

原子炉補機冷却水系配管保温材
ペデスタル地下
保温材カバーあり

2022年2月18日原子力規制庁撮影




島根１号機

原子炉補機冷却水系配管保温材
ペデスタル地下
保温材カバーあり

2022年2月22日原子力規制庁撮影

図７　原子炉補機冷却水系配管（ウレタン保温材）の設置状況

ウレタン保温材

用　途：配管保温

原子炉格納容器内総量：約０．２８トン

（1F3使用量約８ｍ$^3$より試算）※

※東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会
第29回資料１－２等から引用

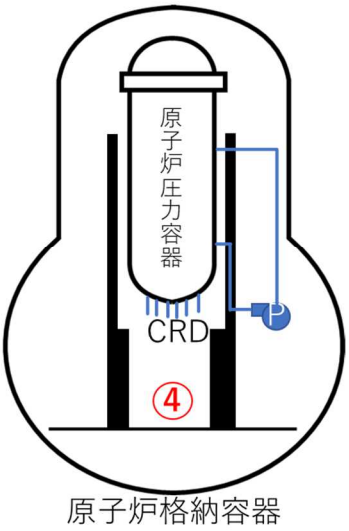
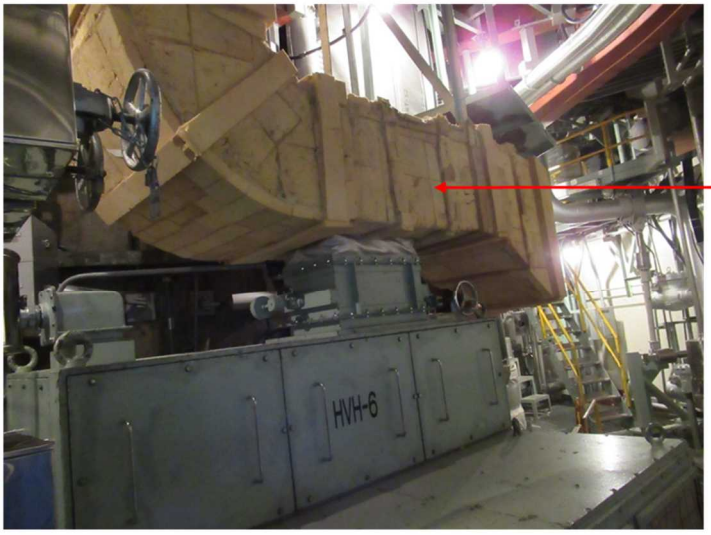



**図８　原子炉補機冷却水系配管（ウレタン保温材）の仕様等**




敦賀１号機

**ドライウェル空調用ダクト保温材**
ドライウェル内

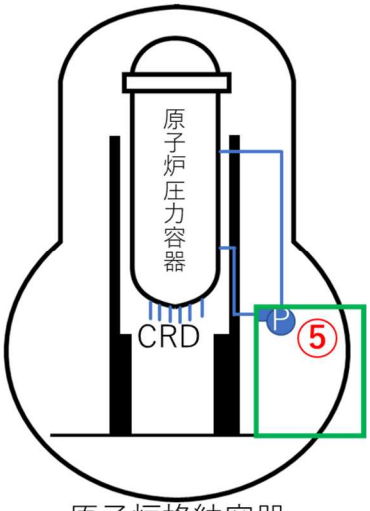
2022年4月8日　原子力規制庁調査時に日本原子力発電により撮影。

**図９　ドライウェル空調用ダクト（ポリイミド発泡体保温材）の設置状況**

ポリイミド発泡体保温材
用　途：配管保温

原子炉格納容器内総量：約０．００６トン
（1F3使用量約１ｍ$^3$より試算）※

※東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会
第29回資料１－２等から引用




原子炉格納容器

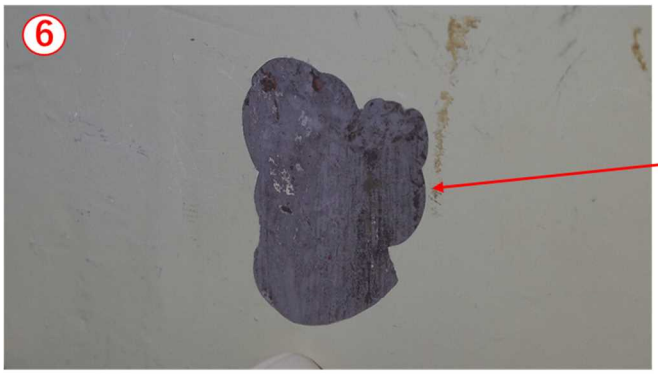
**図 10　ドライウェル空調用ダクト（ポリイミド発泡体保温材）の仕様等**




**福島第一５号機**

**塗料（ペデスタル内）**
エポキシ系塗料（上塗り・中塗り）
無機ジンクリッチ塗料（下塗り）

2022年2月18日原子力規制庁撮影




**島根１号機**

**塗料（ペデスタル内）の剥がれ**

2022年2月22日原子力規制庁撮影

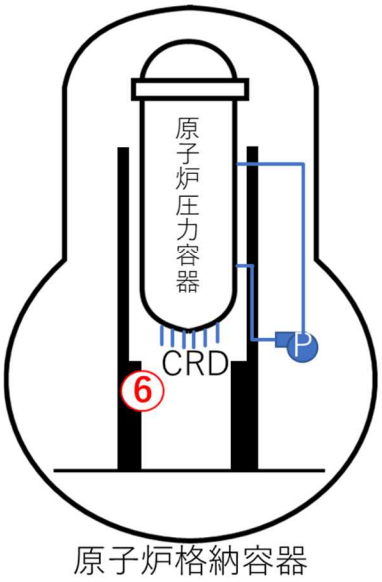



図 11　塗料（ペデスタル内）（エポキシ塗料）の設置状況




図 12　塗料（X-6 ペネ周辺）（エポキシ塗料）の設置状況



**敦賀１号機**

CRD搬入口入口

2022年4月8日の原子力規制庁調査時に
日本原子力発電により撮影。

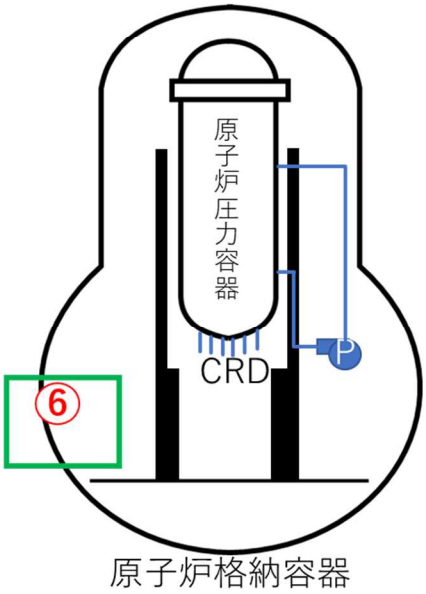



**図 13　塗料（CRD 搬入口入口）（エポキシ塗料）の設置状況**



**敦賀１号機**

ドライウェル床面塗料

2022年4月8日の原子力規制庁調査時に
日本原子力発電により撮影。

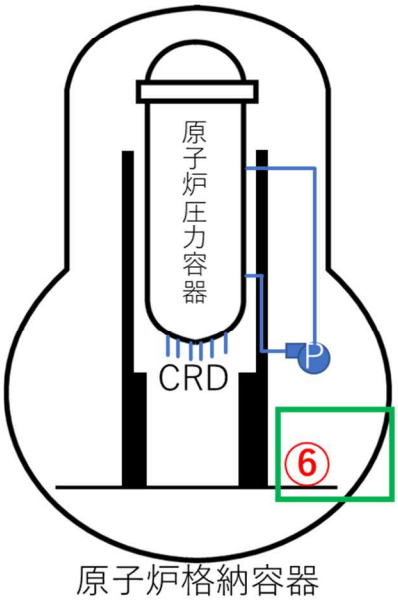



**図 14　塗料（ドライウェル内）（エポキシ塗料）の設置状況**

エポキシ塗料

用　途：格納容器内（D/W、S/C）壁面上塗り

原子炉格納容器内総量：約０．４４２トン

（格納容器（D/W側）内壁表面積約１６００ｍ$^2$、

上塗り／中塗り膜厚各々１００μｍで試算）※

※東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会

第29回資料１－２等から引用

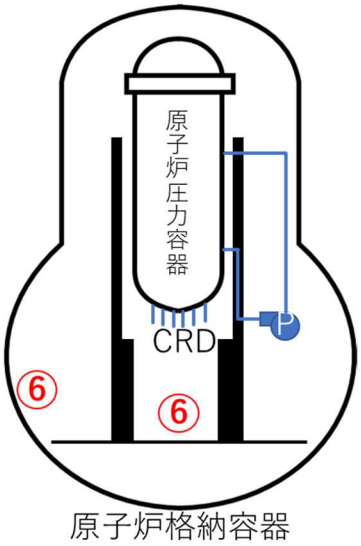
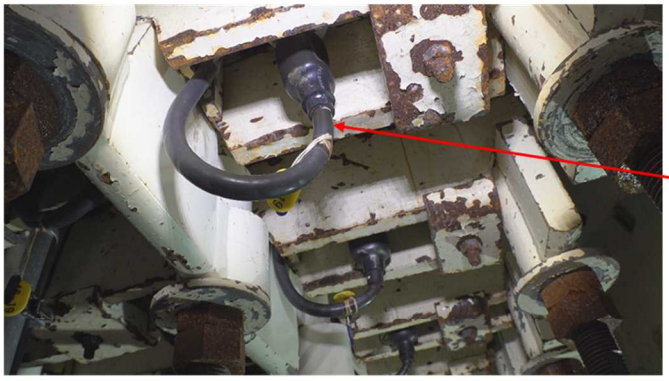


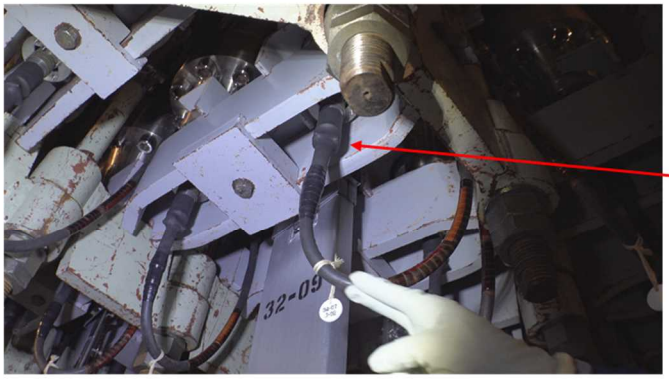

**図 15　塗料（ペデスタル内、X-6 ペネ周辺等）（エポキシ塗料）の仕様等**



福島第一５号機

制御棒位置検出器（PIP）
ケーブル

2022年2月18日原子力規制庁撮影




島根１号機

制御棒位置検出器（PIP）
ケーブル

2022年2月22日原子力規制庁撮影



福島第一５号機

RPV下部（ペデスタル内）

2022年2月18日原子力規制庁撮影




島根１号機

RPV下部（ペデスタル内）

2022年2月22日原子力規制庁撮影

図 16　原子炉圧力容器下部（複合ケーブル（PIP ケーブル）等）の設置状況（１）



福島第一５号機

SRNM/LPRMケーブル
（ペデスタル内）

2022年2月18日原子力規制庁撮影



福島第一５号機

CRD交換機ケーブル
（ペデスタル内）

2022年2月18日原子力規制庁撮影

図 17　原子炉圧力容器下部（複合ケーブル（PIP ケーブル）等）の設置状況（２）

複合ケーブル（補償導線＋制御線）

用　途：PIP（制御棒位置検出器）ケーブルに使用

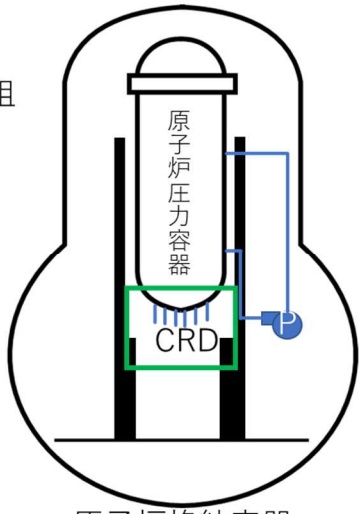
絶縁体：シリコンゴム＋シリコン処理したガラス編組

シース：シリコンゴム

ケーブル総長：約２，７００m※

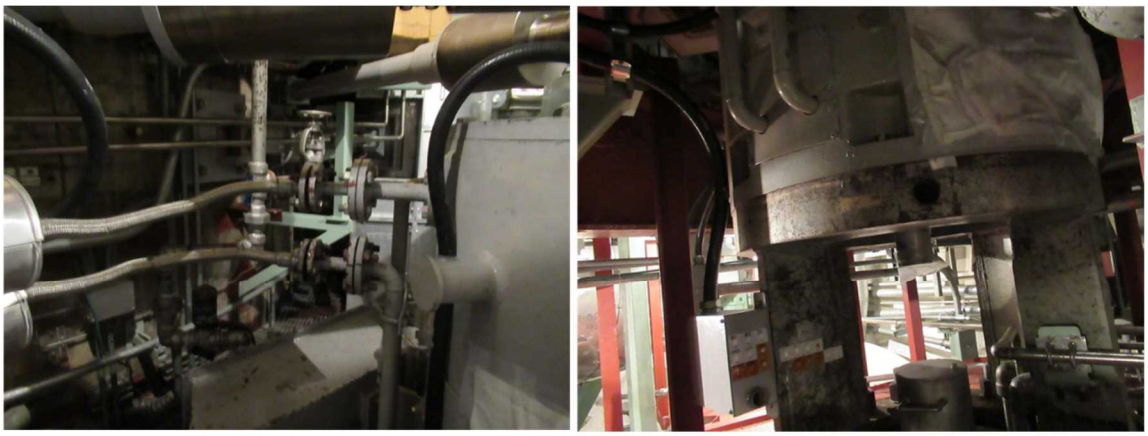
ケーブル総重量：約７３０ｋｇ※

※東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会
第22回資料５－１等から引用




原子炉格納容器

図 18　原子炉圧力容器下部（複合ケーブル（PIP ケーブル）等）の仕様等



原子炉再循環ポンプ
モータ潤滑油配管

原子炉再循環ポンプモーター

写真はいずれも2022年4月8日の原子力規制庁調査時に日本原子力発電により撮影。

**図 19　格納容器内の潤滑油等（PLR ポンプ潤滑油）の設置状況**

PLR（原子炉再循環）ポンプ潤滑油（FBKタービン油）

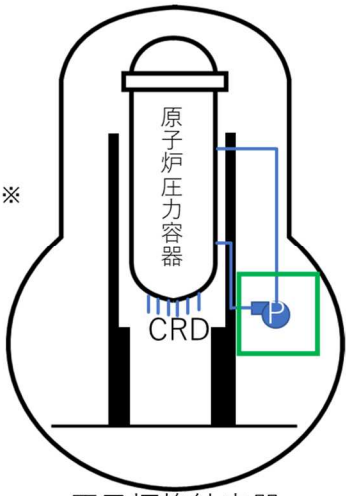
用　途：PLRポンプのモーター軸受け潤滑油に使用

PLRポンプ（A系）の上部軸受け潤滑油：１７０リットル※

PLRポンプ（A系）の下部軸受け潤滑油：１７リットル※

PLRポンプ（B系）も同様

※東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会
第29回資料２から引用




原子炉格納容器

**図 20　格納容器内の潤滑油等（PLR ポンプ潤滑油）の仕様等**

### （２）3 号機原子炉格納容器内で使用されているケーブル等の調査及び 3 号機原子炉格納容器内の温度情報の調査[5]

東京電力が行った 3 号機の原子炉格納容器内で使用されている可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する調査として、RPV 及び PCV 周辺で可燃性有機ガスの発生源となり得る物について過去の調査結果から得られた情報を整理している。

その結果、PCV 内での使用量が多く、可燃性有機ガスの発生源となり得る物として、ケーブル被覆、塗料（エポキシ樹脂）、コンクリート及び制御防（$B_4C$）が挙げられた。（図 21、図 22 参照）

また、可燃性有機ガスは高温環境下で発生したと推測されることから、東京電力における過去の調査結果から事故当時の RPV 及び PCV 周辺の雰囲気温度推定に関連する情報を整理している。

その結果、東京電力 HP で公表されているプラント関連パラメータから、事故当時の温度パラメータ（代表点）等の推移（2011 年 3 月 20 日以降）から、1 号機及び 3 号機においては PCV 内によって 400℃を超える温度条件が想定された。（図 23、図 24 参照）

[5] 事故分析検討会　第 22 回会合　資料 5-1　有機化合物を含む可燃性ガスの発生源に関する過去の調査結果から得られた情報について、2021 年 9 月 14 日　東京電力ホールディングス株式会社




図 21　可燃性有機ガスの発生源となり得るものに関する情報
（PIP ケーブルの例）

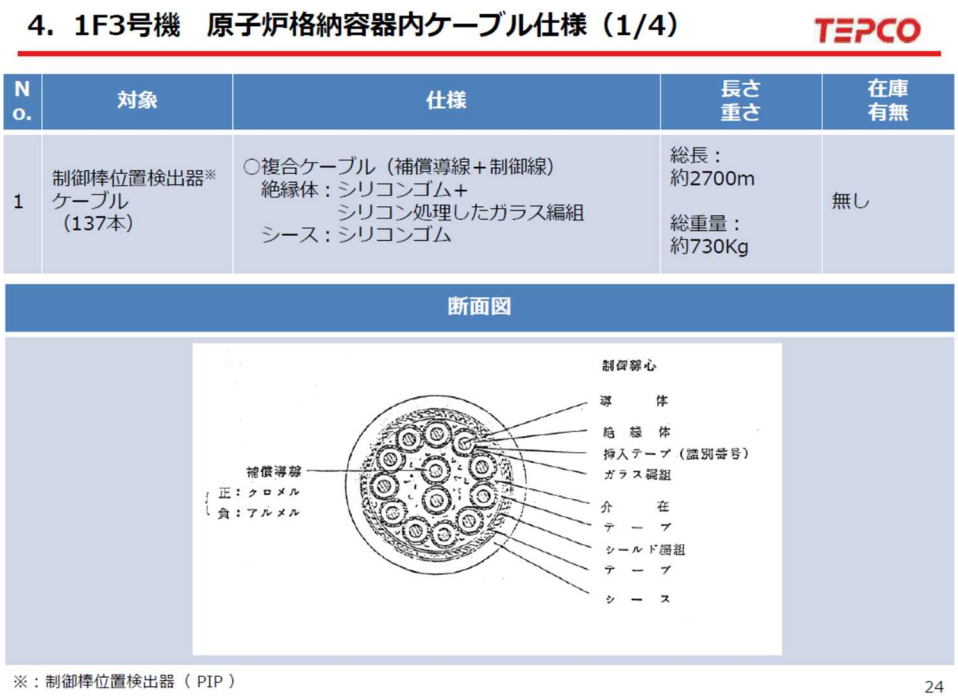



図 22　可燃性有機ガスの発生源となり得るものに関する情報
（PIP ケーブルの例）

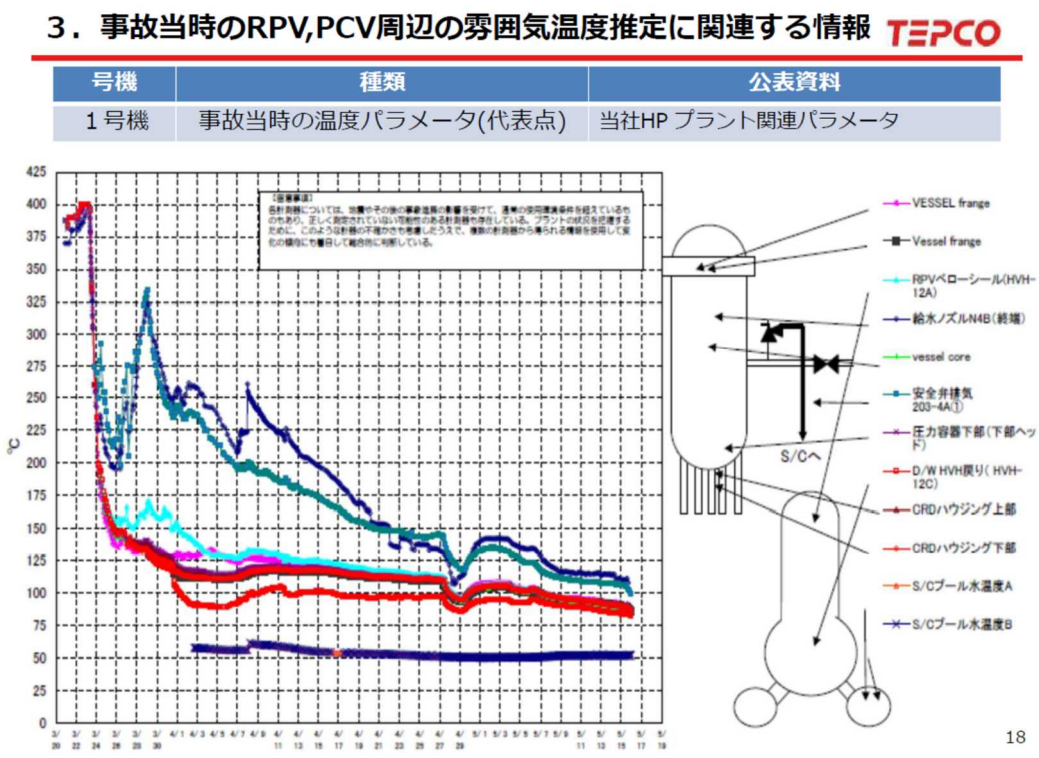



図 23　事故当時の温度パラメータ（代表点）1 号機

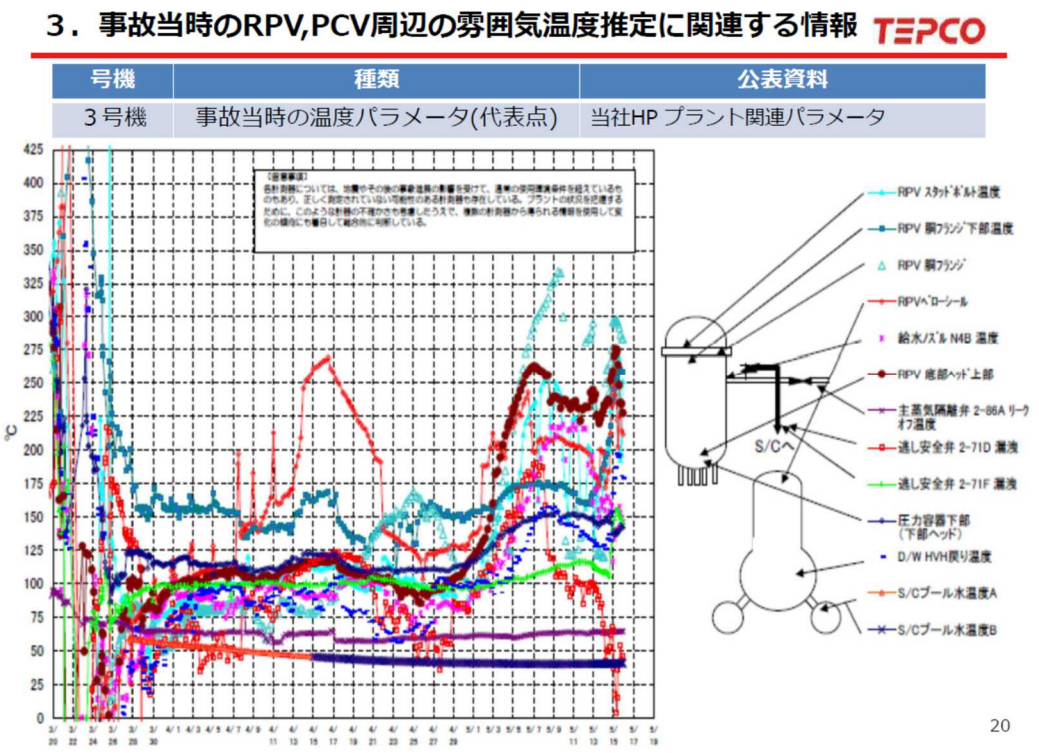



図 24　事故当時の温度パラメータ（代表点）3 号機

### （３）ケーブル等加熱試験

（１）及び（２）の調査チームの現地調査及び東京電力の調査を踏まえて、2021 年度及び 2022 年度に JAEA 及び東京電力において、ケーブル等の試料の加熱試験を実施することとした。

ケーブル等の加熱試験にあたっては、東京電力において、福島第一原子力発電所３号機で使用されているケーブル及び保温材の同材品及び類似品である、柏崎刈羽原子力発電所 7 号機で使用されているケーブル、保温材及び塗料を調達するとともに、JAEA における試験のために東京電力からケーブル及び保温材の試料提供を受けた。

JAEA 及び東京電力では、PCV 内での使用量が多く、可燃性有機ガスの発生が考えられるケーブル等として表 1 の試料を対象として加熱試験を行い、発生ガス中の可燃性有機ガスの同定及び定量分析を試みた。温度条件として、PCV 内全域を想定した原子炉格納容器の限界温度となる 200℃から RPV 下部での溶融炉心との接触を想定した試験装置の限界温度となる 1200℃までの温度範囲としている。

表１　ケーブル等加熱試験の試料等（2021 年度実施）

○ケーブル等加熱試験の試料等（2021年度実施）

○：分析実施　－：分析対象外
×：分析未実施

| No. | 種類 | 試料 | 仕様等 | BWR格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析［JAEA］ | ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験［東京電力HD］ |
|---|---|---|---|---|---|
| ① | ケーブル | 再循環ポンプ動力ケーブル | CVケーブル | － | ※ ○ |
| | | | 絶縁体：架橋ポリエチレン | × | － |
| | | | シース：難燃性特殊耐熱ビニル | ○ | － |
| ② | ケーブル | 原子炉圧力容器底部温度計ケーブル | PNケーブル | － | ※ ○ |
| | | | 絶縁体：難燃性エチレンプロピレンゴム | ○ | － |
| | | | シース：特殊クロロプレンゴム | ○ | ※ － |
| ③ | ケーブル | SRNM/LPRMケーブル | 同軸ケーブル | － | ○ |
| | | | 絶縁体：ETFE／架橋ポリエチレン | × | － |
| | | | シース：難燃性架橋ポリエチレン | × | － |
| ④ | 保温材 | 原子炉補機冷却水系配管 | ウレタン保温材 | ○ | ○ |
| ⑤ | 保温材 | 配管保温材 | ポリイミド保温材 | × | ○ |
| ⑥ | 塗料 | 格納容器内（D/W、S/C）壁面上塗り | エポキシ系塗料 | × | ○ |
| ⑦ | 塗料 | 格納容器内（D/W、S/C）壁面下塗り | 無機ジンクリッチ塗料 | × | × |

### ① JAEA　BWR 格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析

東京電力が収集した試料の提供を受け、JAEA において JAEA ケーブル・保温材加熱試験を実施するとともに（別添８参照)、東京電力においても東京電力ケーブル等加熱試験を実施した。その結果、PCV 内で使用されているケーブル、保温材及び塗料の加熱により生じる気体について、以下の傾向が確認された。

① 各試料を窒素環境下で約 1,000℃まで加熱した場合、複数の温度域で試料重量が減少しており、ケーブル等に使用されている有機材料が熱分解生成ガスとして検出されていること。

② 水素環境下よりも水蒸気環境下の方が可燃性ガスの発生量が多い傾向にあり、200℃24 時間保持の環境下では、可燃性ガスはほぼ発生しないこと。

③ ケーブル等の加熱により発生する気体については、$H_2O$ 及び $CO_2$ の発生量が多く、次いで $CH_4$ 等の炭素数 3 以下の低分子量のガス、最後に炭素数 4 以上の高分子量のガス（プロパンやトルエン等）が検出される傾向にあり、高分子量のガスは、各試料の材料由来成分となる熱分解生成ガスと考えられる。

2022 年度には上記の傾向を踏まえ、JAEA では窒素雰囲気に加え、より酸化性の高い雰囲気（酸素／窒素混合）での無機及び有機ガス成分の定性・定量分析を行う予定であり、東京電力では試料の追加及び酸素環境下での試験を行う予定である。

JAEA ケーブル・保温材加熱試験（詳細は別添８）の主な内容は、以下のとおりである。

ⅰ）JAEA は、試料単体（絶縁体等の素材単位）を窒素環境下で加熱しており、単純な系で発生するガスを質量分析にかけ、定性分析を主体に実施した。その結果、$H_2O$ 及び $CO_2$ を検出するとともに、炭素数４以上の高分子量のガスを推定した。

ⅱ）示差熱分析において各試料とも複数の温度範囲において明確な重量減少が確認された。

ⅲ）原子炉格納容器内での存在量の多いウレタン(約 8m3) の重量減少が、比較的低い温度範囲（約 200～400℃）において顕著（約 70%）であり、潜在的な熱分解ガス生成源として重要度が高いことが示唆された。

ⅳ）示差熱分析の結果、ケーブルのシース又は絶縁体の構成材となる難燃性エチレンプロピレンゴム及び特殊クロロプレンゴムにおいては $H_2O$ が、同じくケーブルのシースの構成材となる難燃性特殊耐熱ビニル及び保温材の構成材となるウレタンにおいては $H_2O$ 及び $CO_2$ が大きな割合を占める熱分解ガスである可能性が高いと推定された。

ⅴ）熱分解ガスクロマトグラム-質量分析により熱分解ガスの構成成分を分離・分析した結果、試料に使用されている材料由来の化合物（例えば、ウレタンの場合はジクロロプロパン、リン酸エステル、アニリン等）を含めて、多種多様な高分子量の有機化合物が熱分解により生成されることが示された。

ⅵ）示差熱-質量分析及び熱分解ガスクロマトグラム-質量分析の結果を総合的に評価すると、生成された有機化合物の分子中に含まれる炭素を合算すると有意な量になると推定された。

### ② 東京電力　ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価

東京電力ケーブル等加熱試験の主な内容[6]は、以下のとおりである。

ⅰ）東京電力は、試料全体（ケーブルの場合、シース、絶縁体、導体を含む一体としたもの）を水素環境下及び水蒸気環境下で 1000℃昇温時及び 200℃24 時間保持時に発生する可燃性有機ガスの同定及び定量分析を実施している。試験に当たっては、試料の昇温前後でのフーリエ変換赤外分光法や走査型電子顕微鏡-エネルギー分散型 X 線分光分析による状態変化を確認するとともに、$CH_4$ の炭素数 3 以下の低分子量のガスを定量している。

ⅱ）200℃24 時間環境下では、可燃性ガスはほぼ発生しないことを確認。

ⅲ）水蒸気環境下の方が水素環境下よりも可燃性ガスが多く発生する傾向を確認。

JAEA 及び東京電力におけるケーブル等加熱試験（2021 年度）に係る試料の概要及びデータの概要は下記のとおり。（表２、表３及び図 25～図 32 参照）

[6] 事故分析検討会　第 29 回会合　資料１－２「ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験結果」（2022 年 4 月 22 日　東京電力ホールディングス株式会社）

## 表２　JAEA　BWR 格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析
## （ケーブル及び保温材の加熱試験）　試料の概要

| No. | 種類 | 仕様等 | 用途 | 試料写真等 | 予備試験 | 本試験<br>（1200℃昇温試験） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ケーブル | CVケーブル<br>シース：難燃性特殊耐熱ビニル | 高圧動力用ケーブルに使用 |  | 熱重量測定（TG）-DTA-MS | 2021年度完了 |
| 2 | ケーブル | PNケーブル<br>絶縁体：難燃性エチレンプロピレンゴム | ・制御・計装ケーブルに使用<br>・RPV下部に設置 |  | 熱重量測定（TG）-DTA-MS | 2021年度完了 |
| 3 | ケーブル | PNケーブル<br>シース：特殊クロロプレンゴム | ・制御・計装ケーブルに使用<br>・RPV下部に設置 |  | 熱重量測定（TG）-DTA-MS | 2021年度完了 |
| 4 | 保温材 | ウレタン保温材 | ・配管保温 |  | 熱重量測定（TG）-DTA-MS | 2021年度完了 |

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第29回会合）資料1－1

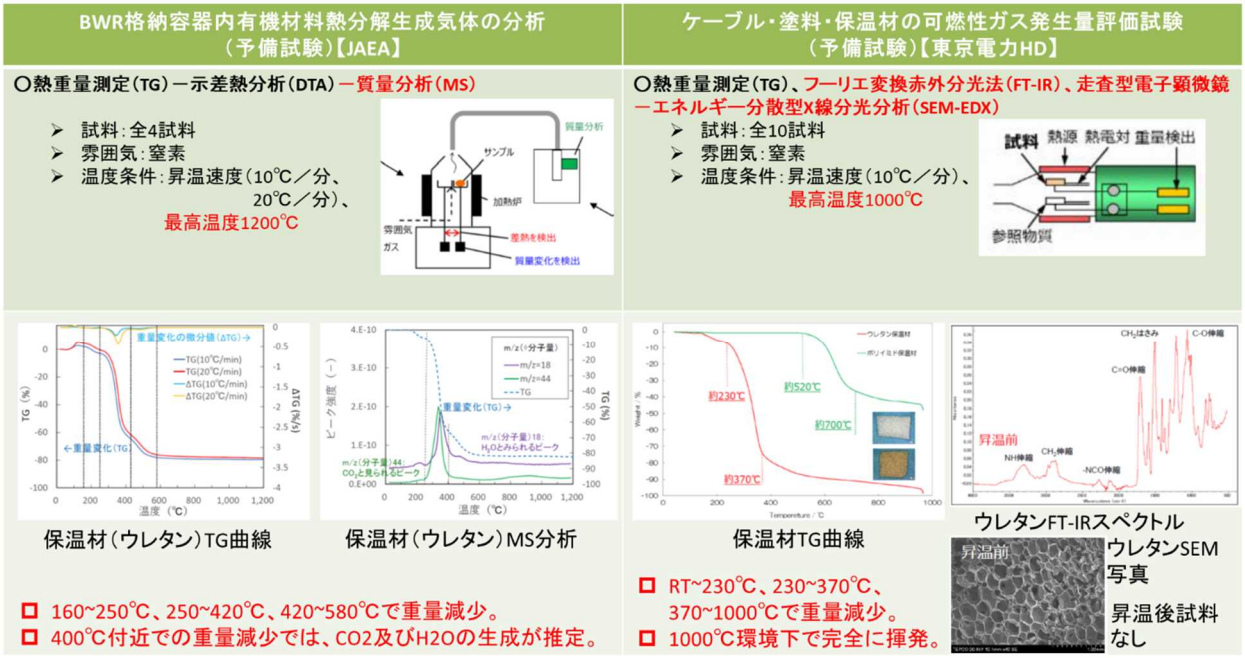
**４試料**

## 表３　東京電力　可燃性有機ガス発生量評価
## （ケーブル、保温材及び塗料の昇温試験）試料の概要

| No. | 種類 | 仕様等 | 用途 | 試料写真等 | 予備試験 | 本試験<br>（1000℃昇温試験）<br>（200℃24h試験） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ケーブル | CVケーブル<br>絶縁体：架橋ポリエチレン<br>シース：難燃性特殊耐熱ビニル | ・高圧動力用ケーブルに使用 |  | 熱重量測定（TG）<br>FT-IR,SEM-EDX | 2021年度完了 |
| 2 | ケーブル | PNケーブル<br>絶縁体：難燃性エチレンプロピレンゴム<br>シース：特殊クロロプレンゴム | ・制御・計装ケーブルに使用<br>・RPV下部に設置 |  | 熱重量測定（TG）<br>FT-IR,SEM-EDX | 2021年度完了 |
| 3 | ケーブル | 同軸ケーブル<br>絶縁体：ETFE／架橋ポリエチレン<br>シース：難燃性架橋ポリエチレン | ・SRNM/LPRMケーブルに使用<br>・RPV下部に設置 | | 熱重量測定（TG）<br>FT-IR,SEM-EDX | 2021年度完了 |
| 4 | 保温材 | ウレタン保温材 | ・配管保温 |  | 熱重量測定（TG）<br>FT-IR,SEM-EDX | 2021年度完了 |
| 5 | 保温材 | ポリイミド保温材 | ・配管保温 | | 熱重量測定（TG）<br>FT-IR,SEM-EDX | 2021年度完了 |
| 6 | 塗料 | エポキシ系塗料 | ・D/W、S/C壁面上塗り | | 熱重量測定（TG）<br>FT-IR,SEM-EDX | 2021年度完了 |
| 7 | 塗料 | 無機ジンクリッチ塗料 | ・D/W、S/C壁面下塗り | | 熱重量測定（TG）<br>FT-IR,SEM-EDX | 2022年度実施予定 |

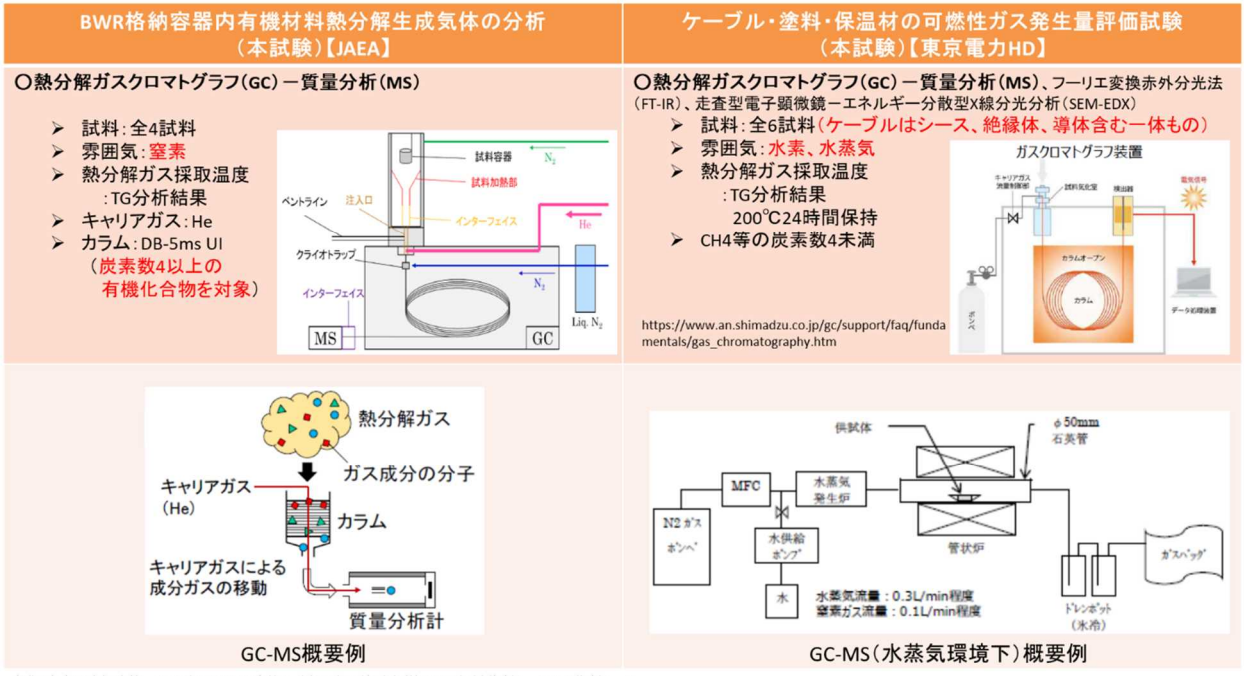
出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第29回会合）資料1－2

**７試料**




出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第29回会合）資料1－1及び資料1－2

図 25-1　ケーブル等加熱試験の概要

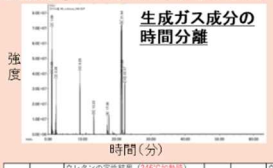



出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第29回会合）資料1－1及び資料1－2

図 25-2　ケーブル等加熱試験の概要

## BWR格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析（本試験）【JAEA】

○熱分解ガスクロマトグラフ(GC)－質量分析(MS)　ウレタンの例




生成ガス成分を時間的に分離し、MS測定データを分析、ライブラリデータと照合し、定性分析を実施。

※類似度800未満は　と記載。

| ピークNo. | 保持時間(min) | ウレタンの定性結果（246℃加熱時）ライブラリ解析 推定化合物 | 類似度 | ピークNo. | 保持時間(min) | ウレタンの定性結果（421℃加熱時）ライブラリ解析 推定化合物 | 類似度 | ピークNo. | 保持時間(min) | ウレタンの定性結果（580℃加熱時）ライブラリ解析 推定化合物 | 類似度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.02 | 1-クロロ-3-フルオロベンゼン | 608 | 1 | 1.23 | アリルプロピルエーテル | 697 | 1 | 1.21 | シクロプテルシラン | 689 |
| 2 | 1.09 | 1-クロロ-3-フルオロベンゼン | 565 | 2 | 1.42 | 5-ヘキセン-1-オール | 711 | 2 | 3.35 | トルエン | 919 |
| 3 | 2.28 | 1,2-ジクロロプロパン | 930 | 3 | 6.68 | 2,3-ジメチル-3-ブテン-2-オール | 713 | 3 | 9.87 | ジアニリノジメチルシラン | 779 |
| 4 | 9.28 | N,N-ジメチルシクロヘキシルアミン | 878 | 4 | 9.28 | 2-(2-クロロエトキシ)エタノール | 767 | 4 | 11.54 | 2-メチル-3-オキサヘキサン-1,5-ジオール | 742 |
| 5 | 13.33 | 3,3,3-Trifluoro-2-hydroxy-propionic acid, 2-isopropyl-5-methyl-cyclohexyl ester | 742 | 5 | 11.86 | 3-メトキシ-1,2-プロパンジオール | 611 | 5 | 12.99 | 3,4-ジメチルアニリン | 899 |
| 6 | 17.36 | Germacrene A, 9-(methylthio)- | 567 | 6 | 13.09 | Pentan-2-ol, 4-allyloxy-2-methyl- | 702 | 6 | 15.28 | 4-sec-ブチルアニリン | 727 |
| 7 | 21.43 | りん酸トリス[1-(クロロメチル)エチル] | 890 | 7 | 15.79 | 1,1'-[1,2-プロパンジイルビス(オキシ)]ビス(2-プロパノール) | 755 | 7 | 17.53 | 2,7-ジメチルキノリン | 803 |
| 8 | 21.54 | りん酸ビス[1-(クロロメチル-エチル)][3-クロロプロピル] | 901 | 8 | 19.08 | トリイソプロピレングリコールメチルエーテル | 738 | 8 | 21.13 | 4-ベンジルアニリン | 878 |
| 9 | 21.6 | りん酸ビス(3-クロロプロピル)[1-(クロロメチル)エチル] | 916 | 9 | 22.4 | 2-((2-(2-Methoxyethoxy) ethoxy) carbonyl) benzoic acid | 628 | 9 | 24.12 | 4,4'-メチレンジアニリン | 882 |
| 10 | 22.37 | 2-((2-Chloroethoxy)carbonyl) benzoic acid | 678 | 10 | 33.44 | 4,4'-ジイソシアン酸メチレンジフェニル | 735 | 10 | 25.04 | 4,4'-メチレンジアニリン | 879 |

□ 材料由来成分（ウレタンの場合はジクロロプロパン、トルエン等）となる高分子量の有機化合物を推定（炭素数4以上を検出）

## ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（本試験）【東京電力HD】

○熱分解ガスクロマトグラフ(GC)－質量分析(MS)　ウレタンの例

ウレタン保温材昇温前後の状態



試験前　　試験後（1000℃水素ガス環境下）　　試験後（1000℃水蒸気環境下）

| 試料 | | ウレタン保温材ガス発生量(m3/t) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 環境 | | 水素ガス | | | 水蒸気 | | | 水蒸気 |
| 温度(℃) | | RT～230 | 230～370 | 370～1000 | RT～230 | 230～370 | 370～1000 | 200 |
| H2 | | － | － | － | － | － | 2.64E+02 | － |
| CO | | － | － | － | － | － | 1.16E+02 | － |
| 炭化水素 | CH4 | 5.83E-04 | 1.25E-03 | 7.35E+00 | 6.29E-03 | 1.09E-03 | 2.72E+01 | 5.49E-03 |
| | C2H4 | － | 4.17E-04 | 5.43E-01 | 3.59E-03 | 7.03E-04 | 6.68E+00 | － |
| | C2H6 | － | 5.00E-04 | 6.83E-01 | 8.98E-04 | 1.56E-04 | 1.25E+00 | － |
| | C3H6 | － | 1.92E-02 | 5.95E-01 | 2.70E-03 | 5.47E-04 | 3.63E+00 | － |
| | C3H8 | 2.92E-04 | 5.00E-04 | 1.51E-01 | 1.80E-03 | 3.13E-04 | 4.30E-01 | 1.37E-03 |
| | i-C4H10 | － | － | － | － | － | － | － |
| | n-C4H10 | － | － | － | － | 7.81E-05 | 6.00E-02 | － |
| | i-C5H12 | － | 1.17E-03 | 1.23E-02 | － | － | － | － |
| | n-C5H12 | － | 3.08E-03 | 2.28E-02 | － | － | 1.36E-02 | － |
| | 上記以外のC1～C5(CH4換算値) | 1.52E-01 | 2.17E-01 | 3.15E-01 | 5.03E-01 | 2.27E-01 | 2.15E+00 | 8.37E-01 |
| | CH4換算合計値 | 1.55E-01 | 2.92E-01 | 1.24E+01 | 5.30E-01 | 2.34E-01 | 5.66E+01 | 8.51E-01 |
| NH3 | | － | － | 6.48E-01 | － | － | 3.96E-03 | － |
| H2S | | 8.75E-05 | 7.50E-05 | － | 7.28E-03 | 9.38E-04 | 4.30E-02 | 4.67E-03 |

□ 水蒸気環境下の方が水素環境下よりも可燃性ガスが多く発生する傾向。

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第29回会合）資料1－1及び資料1－2

図 25-3　ケーブル等加熱試験の概要

| BWR格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析（予備試験）【JAEA】 | ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（予備試験）【東京電力HD】 |
|---|---|

■TG-MS分析条件

| | |
|---|---|
| パン（試料容器） | 白金（開放式） |
| 試料量 | 約 2.5 mg |
| 測定範囲 | 室温 ~ 1200℃ |
| 昇温速度 | 10℃/ minまたは20℃/ min |
| 雰囲気 | 窒素ガス（流量200 mL / min） |
| イオン化法 | 電子イオン化（EI） |
| m/zの走査範囲 | 2 ~ 200 |

■**予備試験**：昇温中の重量変化測定(TG)によるガス採取温度域の決定
試料の昇温前後のFT-IR及びSEM-EDXを測定

※TG（熱重量）測定
：試料の温度を一定のプログラムに従って変化させながら、その試料の質量を温度の関数として測定する方法。試料の熱分解や脱水等の減少など、劣化事象を定量的に測定。
FT-IR（フーリエ変換赤外分光法）
：試料に赤外光を照射し、透過または反射した光量を測定する方法。分子の構造や官能基の情報を得て、物質の定性や同定に関する情報を得ることができる。
SEM-EDX（走査型電子顕微鏡-エネルギー分散型X線分光分析）
：試料に電子線を照射し、表面にXY方向に二次元走査し、そこから発生する様々な信号を用いて表面構造の観察や組成の分析などを行う。

図 26-1　ケーブル等加熱試験の試験条件等（2021 年度実施）

| BWR格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析（本試験）【JAEA】 | ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（本試験）【東京電力HD】 |
|---|---|

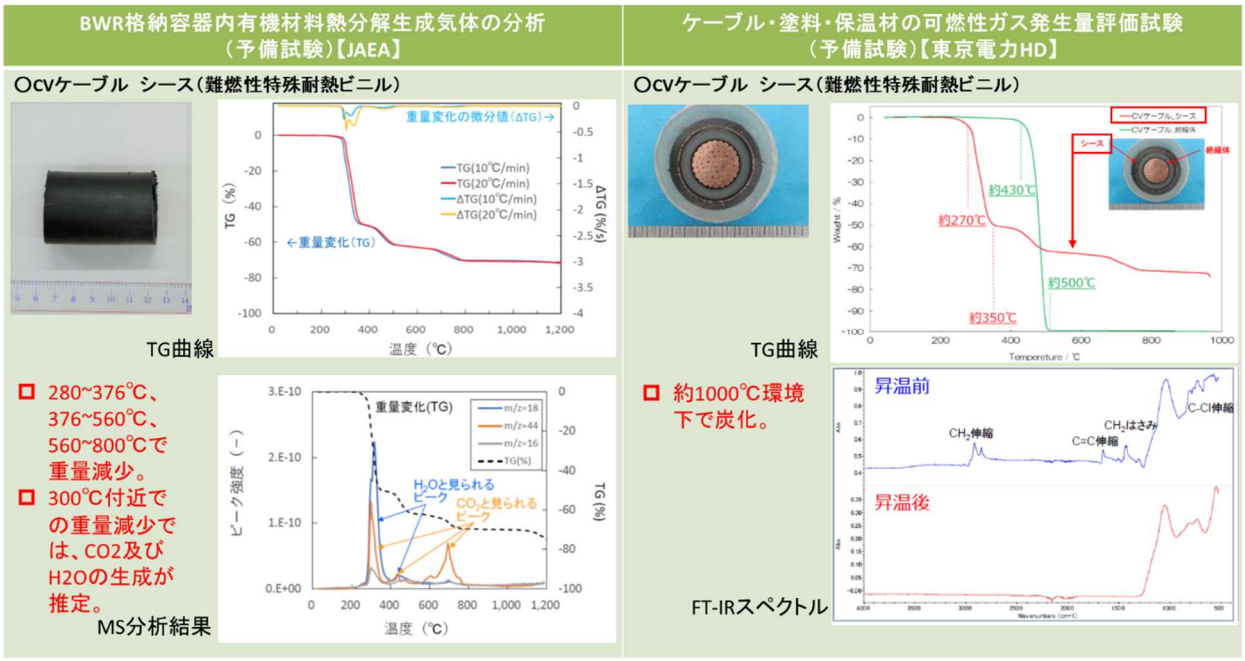
■熱分解GC-MS分析条件

| | |
|---|---|
| 加熱雰囲気 | N2 雰囲気 |
| 試料量 | 2.1 mg |
| 試料加熱温度 | ・321℃ → 395℃ → 500℃（難燃性エチレンプロピレンゴム）<br>・307℃ → 404℃ → 527℃（特殊クロロプレンゴム）<br>・376℃ → 560℃ → 800℃（難燃性特殊耐熱ビニル）<br>・246℃ →421℃→580℃（ウレタン） |
| 各温度での保持時間 | 1分間 |
| インターフェイス温度 | 240℃ |
| クライオトラップ | 使用する |
| カラム | DB-5MS UI (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm) |
| キャリヤーガス、流量 | He, 1.0 mL/min（初期カラム流量） |
| スプリット比 | 200:1 |
| 注入口温度 | 240℃ |
| 検出器 | MS, スキャンモード, m/z= 29~1000 |
| インターフェイス温度 | 320℃ |
| オーブンの温度 | 40℃(5 min)→10℃/minで昇温→320℃(30 min) |

■**本試験条件設定**
- 水蒸気、水素ガス環境下における1000℃までの連続昇温試験（昇温速度10℃/min）予備試験（TG測定）で得られた結果から、ガス発生のタイミングにて３つのガスサンプリング領域を設定
- 水蒸気か水素ガス環境下のいずれかにおいて、200℃24時間保持試験
- ケーブルはシース、絶縁体、導体含む一体もので試験実施

■**本試験分析方法**
- 200℃ 、ガス発生温度域、1000℃ で採取したガスをガスクロマトグラフィーより分析
- 昇温前後でのケーブル等の高分子成分の変化をFT-IR より測定
- 昇温前後でのケーブル等中に含まれる各元素の相対変化をSEM-EDX より測定
- 水素ガス環境下（水素ガス流量：0.3L/min程度）、水蒸気環境下（水蒸気流量：0.3L/min程度、窒素ガス流量：0.1L/min程度

図 26-2　ケーブル等加熱試験の試験条件等（2021 年度実施）




出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 27-1　CV ケーブルの結果概要




出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 27-2　CV ケーブルの結果概要

## BWR格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析（本試験）【JAEA】

○cvケーブル シース（難燃性特殊耐熱ビニル）
昇温前後の状態



試験前



試験後

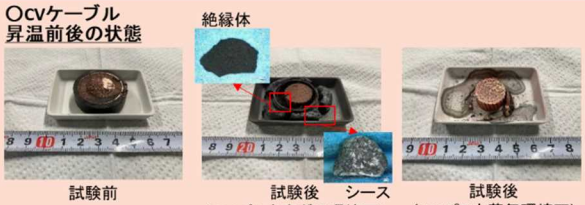
| 温度（℃） | 280～376 | 376～560 | 560～800 | 800～1200 |
|---|---|---|---|---|
| 推定発生ガス | 水<br>二酸化炭素<br>2-オクテン | 水<br>二酸化炭素<br>ベンゼン<br>トルエン | 水素<br>水<br>二酸化炭素 | 二酸化炭素 |

※ 昇温条件　10 ℃/min

- 熱分解ガスには高分子量の有機化合物が含まれると推定。
- TG-MS分析結果と合わせると、幅広い分子量の有機化合物が生成され得るが、無機ガス成分（H2O等）に比べると、個々の生成量は低いと考えられる。

## ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（本試験）【東京電力HD】

○cvケーブル
昇温前後の状態




試験前　　試験後　シース（1000℃水素ガス環境下）　　試験後（1000℃水蒸気環境下）

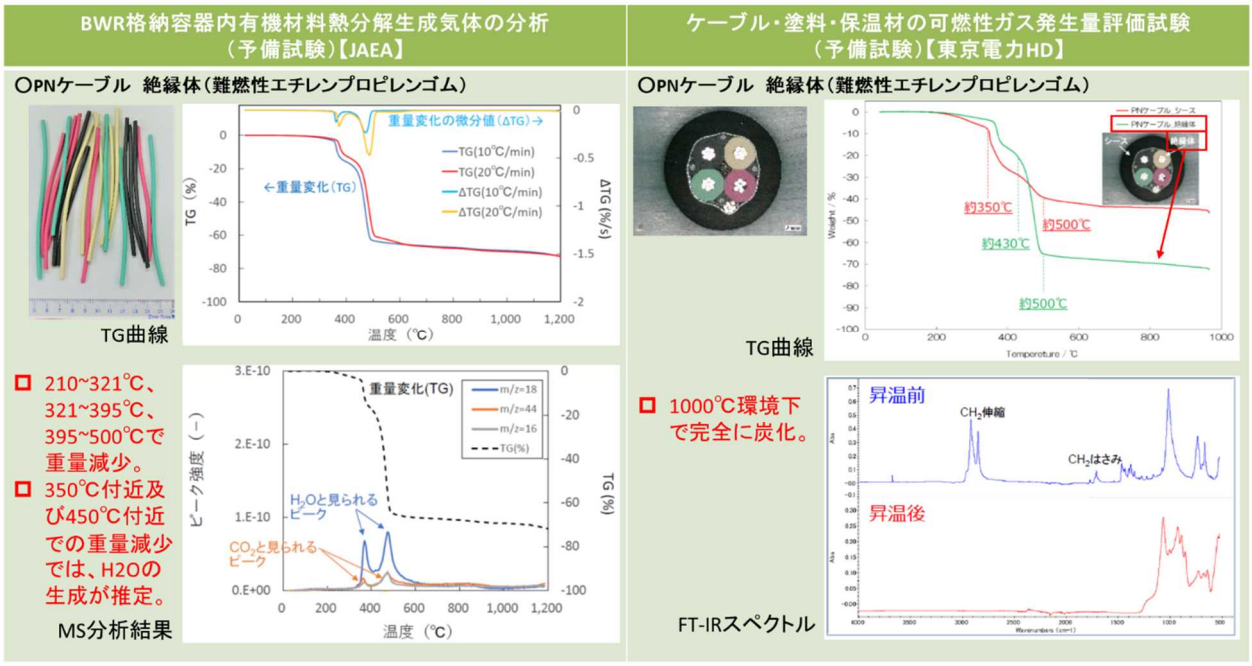
1000℃昇温時、200℃24時間保持に発生したガス分析結果

| 試料 | | CVケーブルガス発生量(m3/t) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 環境 | | 水素ガス | | | 水蒸気 | | | 水蒸気 |
| 温度（℃） | | RT～350 | 350～500 | 500～1000 | RT～350 | 350～500 | 500～1000 | 200 |
| H2 | | – | – | – | – | – | 1.01E+02 | – |
| CO | | – | – | 2.74E+00 | – | – | 1.95E+01 | – |
| | CH4 | 1.52E−04 | 1.90E−01 | 1.10E+01 | 2.29E−04 | 6.53E−03 | 1.81E+01 | 2.98E−04 |
| | C2H4 | 1.52E−04 | 1.42E−01 | 1.92E+00 | – | 4.57E−03 | 1.17E+01 | 9.92E−05 |
| | C2H6 | – | 1.33E−01 | 1.92E+00 | – | 3.59E−03 | 2.01E+00 | – |
| 炭 | C3H6 | – | 1.23E−01 | 6.17E−01 | – | 1.96E−03 | 2.41E+00 | – |
| 化 | C3H8 | 2.27E−04 | 8.06E−02 | 1.92E−01 | – | 1.63E−03 | 4.58E−01 | 6.95E−04 |
| 水 | i−C4H10 | – | 1.33E−03 | 5.48E−03 | – | 1.41E−04 | 7.45E−03 | – |
| 素 | n−C4H10 | – | 5.12E−02 | 9.46E−02 | – | 5.22E−04 | 2.87E−01 | – |
| | i−C5H12 | – | 1.80E−02 | 8.78E−02 | – | – | 2.64E−01 | – |
| | n−C5H12 | – | 1.71E−02 | 8.36E−02 | – | – | 1.98E−01 | – |
| | 上記以外のC1～C5（CH4換算値） | – | 2.65E−01 | 1.06E+00 | – | 4.03E−03 | 4.58E+00 | – |
| | CH4換算合計値 | 1.25E−03 | 1.90E+00 | 2.33E+01 | 5.33E−04 | 3.92E−02 | 6.02E+01 | 2.58E−03 |
| NH3 | | – | – | – | 3.81E−05 | – | – | 4.96E−05 |
| H2S | | 8.34E−05 | 2.09E−03 | 3.70E−03 | 7.46E−04 | 4.46E−05 | 2.87E−04 | 3.37E−04 |

- 水蒸気環境下でH2及び炭化水素（CH4換算）の発生量大。

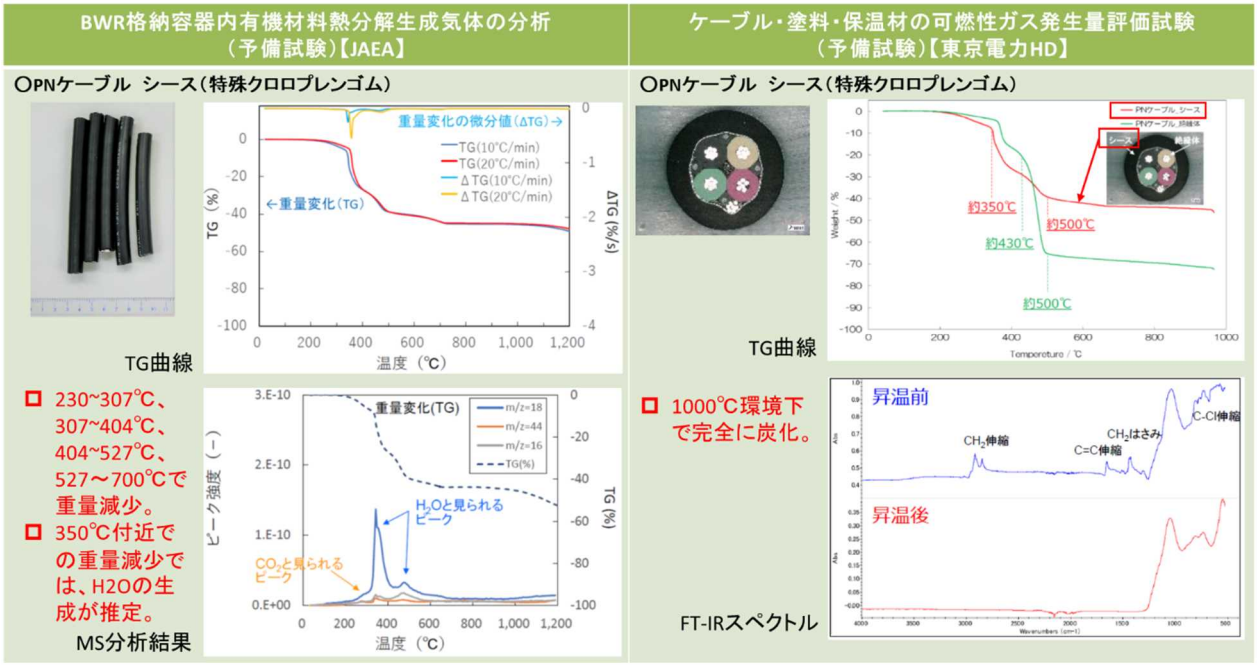
出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 27-3　CV ケーブルの結果概要




出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 28-1　PN ケーブルの結果概要

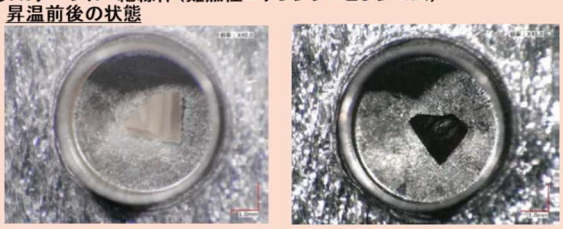



出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 28-2　PN ケーブルの結果概要

**BWR格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析（本試験）【JAEA】**

○PNケーブル 絶縁体（難燃性エチレンプロピレンゴム）
昇温前後の状態



試験前　　試験後

| 温度（℃） | 210～321 | 321～395 | **395～500** | 500～1200 |
|---|---|---|---|---|
| 推定発生ガス | 二酸化炭素 | 水<br>二酸化炭素<br>1-ブテン | 水素<br>水<br>一酸化窒素<br>二酸化炭素<br>C7炭化水素<br>ベンゼン<br>トルエン | 二酸化炭素 |

※ 昇温条件　10 ℃/min

□ 熱分解ガスには高分子量の有機化合物が含まれると推定。

**ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（本試験）【東京電力HD】**

○PNケーブル
昇温前後の状態



試験前　　試験後（1000℃水素ガス環境下）　　試験後（1000℃水蒸気環境下）

**1000℃昇温時、200℃24時間保持に発生したガス分析結果**

| 試料 | | PNケーブルガス発生量(m3/t) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 環境 | | 水素ガス | | | 水蒸気 | | | 水蒸気 |
| 温度(℃) | | RT～400 | 400～500 | 500～1000 | RT～400 | 400～500 | 500～1000 | 200 |
| H2 | | – | – | – | – | 1.55E-01 | 3.98E+02 | – |
| CO | | – | 4.09E-02 | 4.32E-01 | – | 6.87E-02 | 1.62E+02 | – |
| 炭化水素 | CH4 | 4.71E-02 | 3.80E-01 | 4.75E+00 | 3.86E-03 | 1.22E-01 | 1.83E+01 | 3.72E-03 |
| | C2H4 | 9.11E-02 | 2.21E-01 | 4.15E-01 | 4.87E-03 | 1.41E-01 | 6.26E+00 | 5.32E-04 |
| | C2H6 | 1.40E-02 | 2.09E-01 | 3.89E-01 | 7.16E-04 | 5.15E-02 | 3.05E+00 | – |
| | C3H6 | 5.16E-03 | 1.02E-01 | 1.99E-01 | 2.86E-04 | 1.89E-02 | 2.70E+00 | – |
| | C3H8 | 7.44E-03 | 8.18E-02 | 9.08E-02 | 2.86E-04 | 1.63E-02 | 9.57E-01 | 1.33E-03 |
| | i-C4H10 | – | 3.60E-03 | 3.46E-03 | – | 6.18E-04 | 4.79E-02 | – |
| | n-C4H10 | 5.77E-03 | 4.91E-02 | 4.32E-02 | – | 7.90E-03 | 5.39E-01 | – |
| | i-C5H12 | – | 1.06E-02 | 1.90E-02 | – | 6.01E-04 | 2.18E-01 | – |
| | n-C5H12 | 4.86E-03 | 2.29E-02 | 4.32E-02 | – | 9.62E-04 | 4.26E-01 | – |
| | 上記以外のC1～C5(CH4換算値) | 7.75E-02 | 3.35E-01 | 3.89E-01 | 2.29E-03 | 9.10E-02 | 6.35E+00 | – |
| | CH4換算合計値 | 3.95E-01 | 2.41E+00 | 7.78E+00 | 1.86E-02 | 7.04E-01 | 5.74E+01 | 8.91E-03 |
| NH3 | | – | – | – | – | – | – | – |
| H2S | | 1.20E-01 | 1.47E-01 | 1.04E-01 | 6.15E-03 | 5.84E-02 | 3.31E-01 | 4.65E-04 |

□ 水蒸気環境下でH2及びCOの発生量大。

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 28-3　PN ケーブルの結果概要

**BWR格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析（本試験）【JAEA】**

○PNケーブル シース（特殊クロロプレンゴム）
昇温前後の状態



試験前　　試験後

| 温度（℃） | 230～307 | **307～404** | 404～527 | 527～700 | 700～1200 |
|---|---|---|---|---|---|
| 推定発生ガス | 水<br>二酸化炭素 | 水<br>二酸化炭素<br>2-ｸﾛﾛ-2-ﾒﾁﾙﾌﾟﾛﾊﾟﾝ<br>塩素<br>ベンゼン<br>トルエン | 水素<br>水<br>二酸化炭素<br>2-ｸﾛﾛ-2-ﾒﾁﾙﾌﾟﾛﾊﾟﾝ<br>塩素<br>C7炭化水素<br>ベンゼン<br>トルエン | 水素<br>水<br>二酸化炭素 | 二酸化炭素 |

※ 昇温条件　10 ℃/min

□ 熱分解ガスには高分子量の有機化合物が含まれると推定。

**ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（本試験）【東京電力HD】**

○PNケーブル
昇温前後の状態



試験前　　試験後（1000℃水素ガス環境下）　　試験後（1000℃水蒸気環境下）

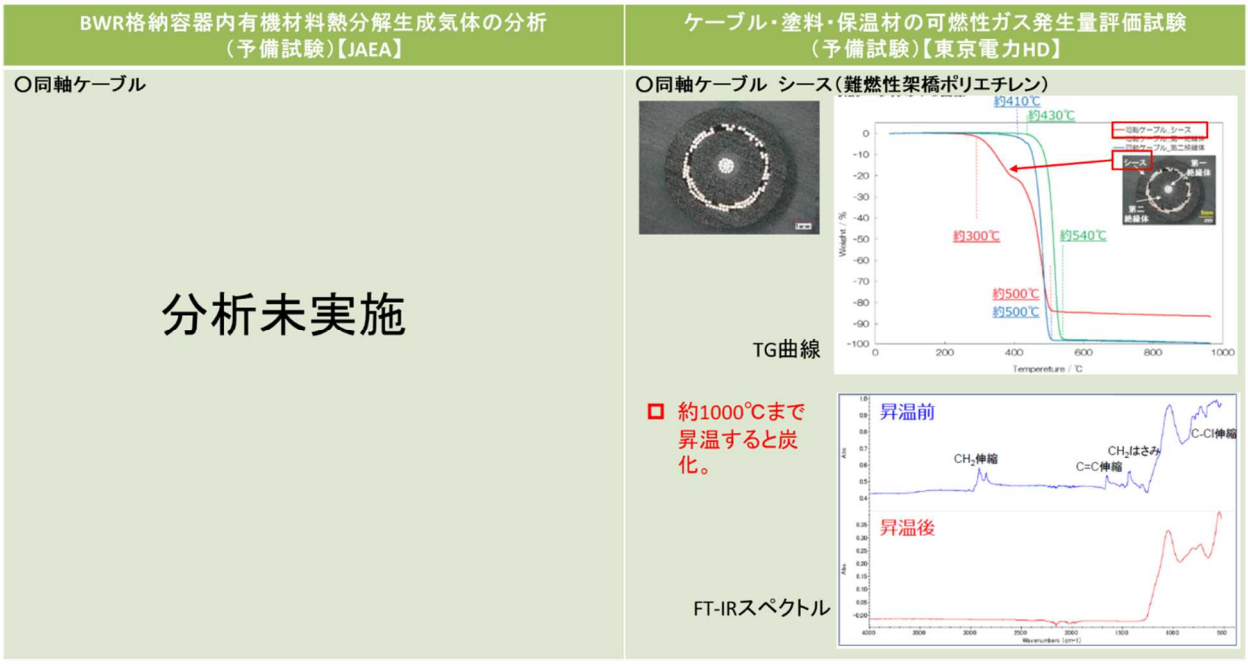
**1000℃昇温時、200℃24時間保持に発生したガス分析結果**

| 試料 | | PNケーブルガス発生量(m3/t) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 環境 | | 水素ガス | | | 水蒸気 | | | 水蒸気 |
| 温度(℃) | | RT～400 | 400～500 | 500～1000 | RT～400 | 400～500 | 500～1000 | 200 |
| H2 | | – | – | – | – | 1.55E-01 | 3.98E+02 | – |
| CO | | – | 4.09E-02 | 4.32E-01 | – | 6.87E-02 | 1.62E+02 | – |
| 炭化水素 | CH4 | 4.71E-02 | 3.80E-01 | 4.75E+00 | 3.86E-03 | 1.22E-01 | 1.83E+01 | 3.72E-03 |
| | C2H4 | 9.11E-02 | 2.21E-01 | 4.15E-01 | 4.87E-03 | 1.41E-01 | 6.26E+00 | 5.32E-04 |
| | C2H6 | 1.40E-02 | 2.09E-01 | 3.89E-01 | 7.16E-04 | 5.15E-02 | 3.05E+00 | – |
| | C3H6 | 5.16E-03 | 1.02E-01 | 1.99E-01 | 2.86E-04 | 1.89E-02 | 2.70E+00 | – |
| | C3H8 | 7.44E-03 | 8.18E-02 | 9.08E-02 | 2.86E-04 | 1.63E-02 | 9.57E-01 | 1.33E-03 |
| | i-C4H10 | – | 3.60E-03 | 3.46E-03 | – | 6.18E-04 | 4.79E-02 | – |
| | n-C4H10 | 5.77E-03 | 4.91E-02 | 4.32E-02 | – | 7.90E-03 | 5.39E-01 | – |
| | i-C5H12 | – | 1.06E-02 | 1.90E-02 | – | 6.01E-04 | 2.18E-01 | – |
| | n-C5H12 | 4.86E-03 | 2.29E-02 | 4.32E-02 | – | 9.62E-04 | 4.26E-01 | – |
| | 上記以外のC1～C5(CH4換算値) | 7.75E-02 | 3.35E-01 | 3.89E-01 | 2.29E-03 | 9.10E-02 | 6.35E+00 | – |
| | CH4換算合計値 | 3.95E-01 | 2.41E+00 | 7.78E+00 | 1.86E-02 | 7.04E-01 | 5.74E+01 | 8.91E-03 |
| NH3 | | – | – | – | – | – | – | – |
| H2S | | 1.20E-01 | 1.47E-01 | 1.04E-01 | 6.15E-03 | 5.84E-02 | 3.31E-01 | 4.65E-04 |

□ 水蒸気環境下でH2及びCOの発生量大。

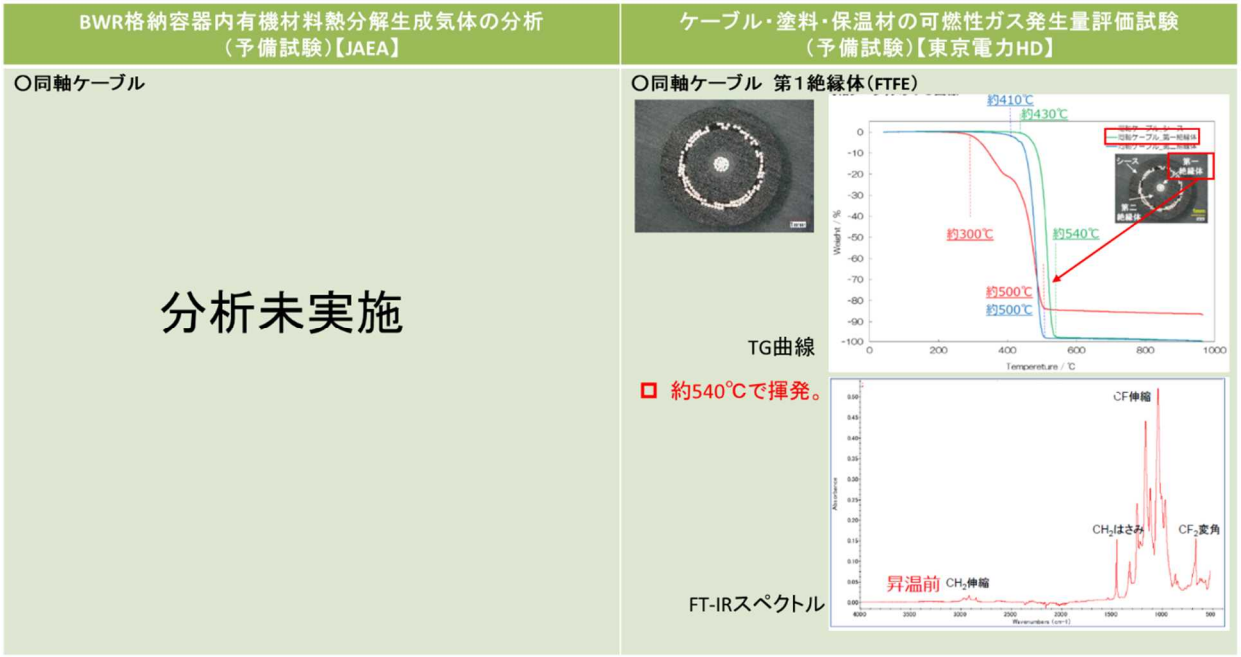
出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 28-4　PN ケーブルの結果概要



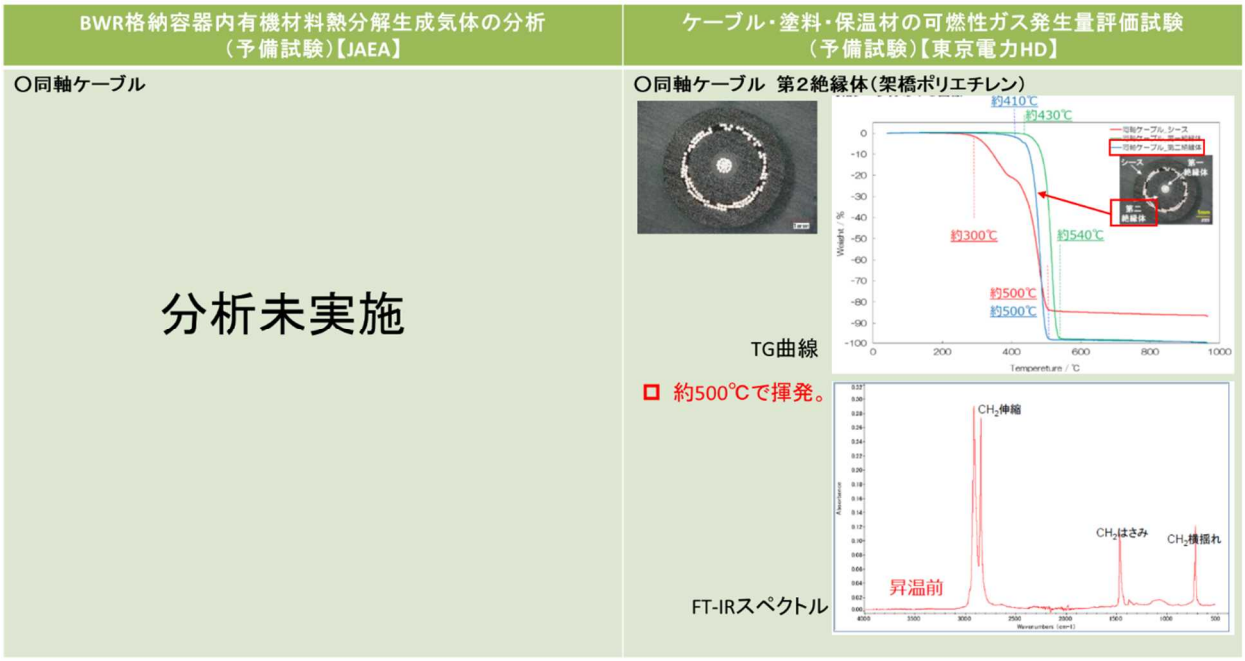

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 29-1　同軸ケーブルの結果概要




出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 29-2　同軸ケーブルの結果概要




出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

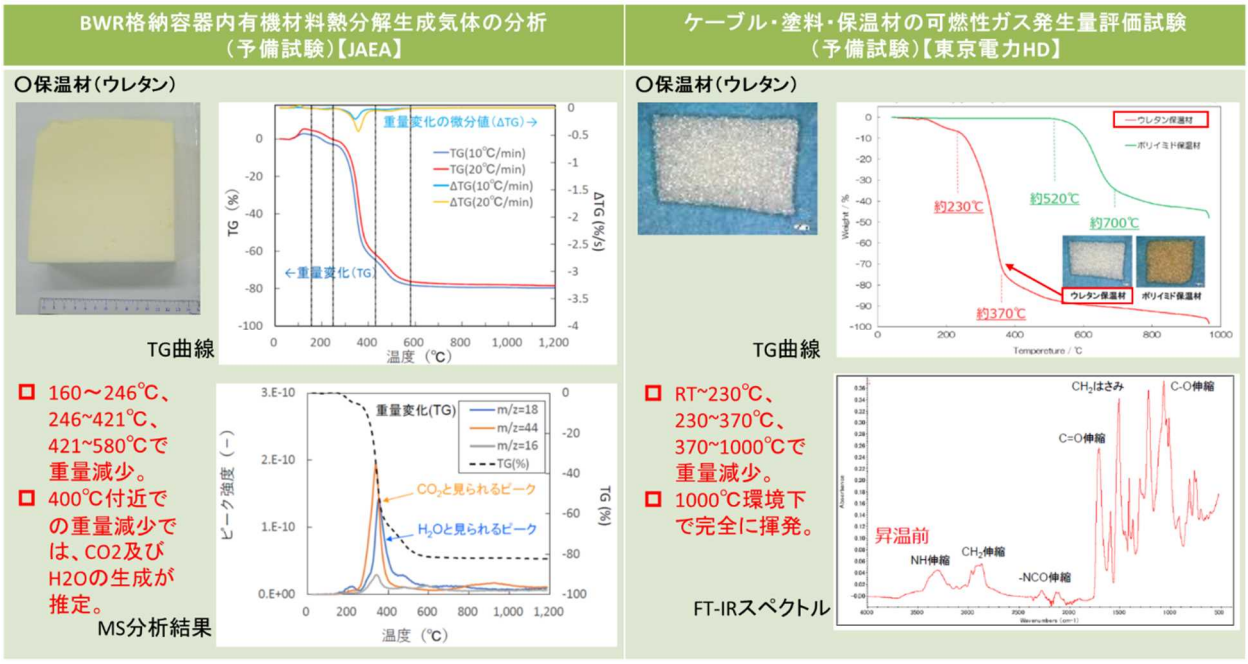
図 29-3　同軸ケーブルの結果概要




| 試料 | | 同軸ケーブルガス発生量(m3/t) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 環境 | | 水素ガス | | | 水蒸気 | | | 水蒸気 |
| 温度(℃) | | RT～400 | 400～540 | 540～1000 | RT～400 | 400～540 | 540～1000 | 200 |
| H2 | | – | – | – | – | – | 3.37E+01 | – |
| CO | | – | – | – | – | – | 1.17E+01 | – |
| 炭化水素 | CH4 | 1.27E-03 | 1.52E-01 | 2.76E+00 | 2.14E-03 | 1.81E-02 | 7.12E+00 | 1.29E-03 |
| | C2H4 | 2.29E-03 | 1.62E-01 | 5.31E-01 | – | 2.05E-02 | 5.44E+00 | – |
| | C2H6 | 7.62E-04 | 1.20E-01 | 5.84E-01 | 5.35E-04 | 1.40E-02 | 1.26E+00 | – |
| | C3H6 | 7.62E-04 | 1.20E-01 | 1.81E-01 | – | 7.91E-03 | 1.51E+00 | – |
| | C3H8 | 7.62E-04 | 5.08E-02 | 6.37E-02 | 1.87E-02 | 6.51E-03 | 2.93E-01 | 3.22E-03 |
| | i-C4H10 | – | 1.02E-03 | 5.31E-04 | – | – | – | – |
| | n-C4H10 | – | 2.91E-02 | 2.92E-02 | – | 1.12E-03 | 1.72E-01 | – |
| | i-C5H12 | – | 1.43E-02 | 1.86E-02 | – | – | 6.28E-02 | – |
| | n-C5H12 | – | 1.20E-02 | 2.02E-02 | – | – | 3.98E-02 | – |
| | 上記以外のC1～C5（CH4換算値） | 5.84E-03 | 2.68E-01 | 3.29E-01 | – | 1.07E-02 | 2.93E+00 | – |
| | CH4換算合計値 | 1.80E-02 | 1.66E+00 | 6.37E+00 | 5.88E-02 | 1.40E-01 | 2.72E+01 | 1.22E-02 |
| NH3 | | – | – | – | – | – | – | – |
| H2S | | – | – | 2.02E-03 | 3.74E-04 | 1.49E-04 | 2.93E-04 | 1.22E-03 |

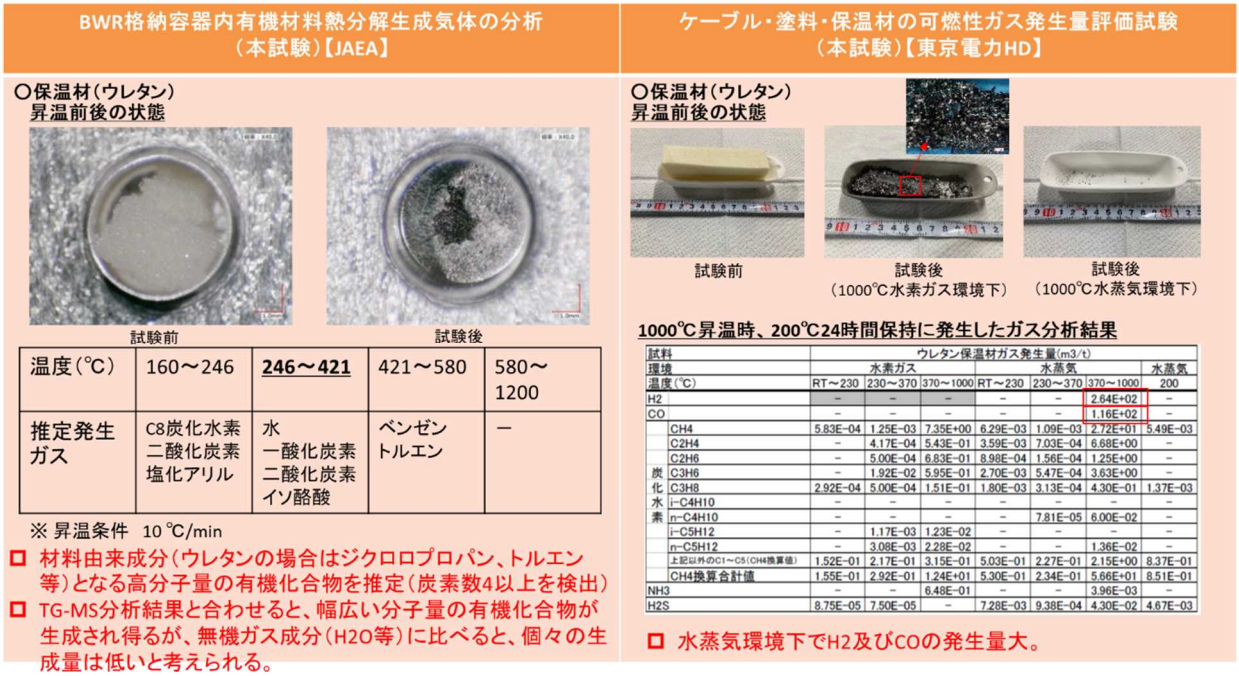
出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 29-4　同軸ケーブルの結果概要




出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

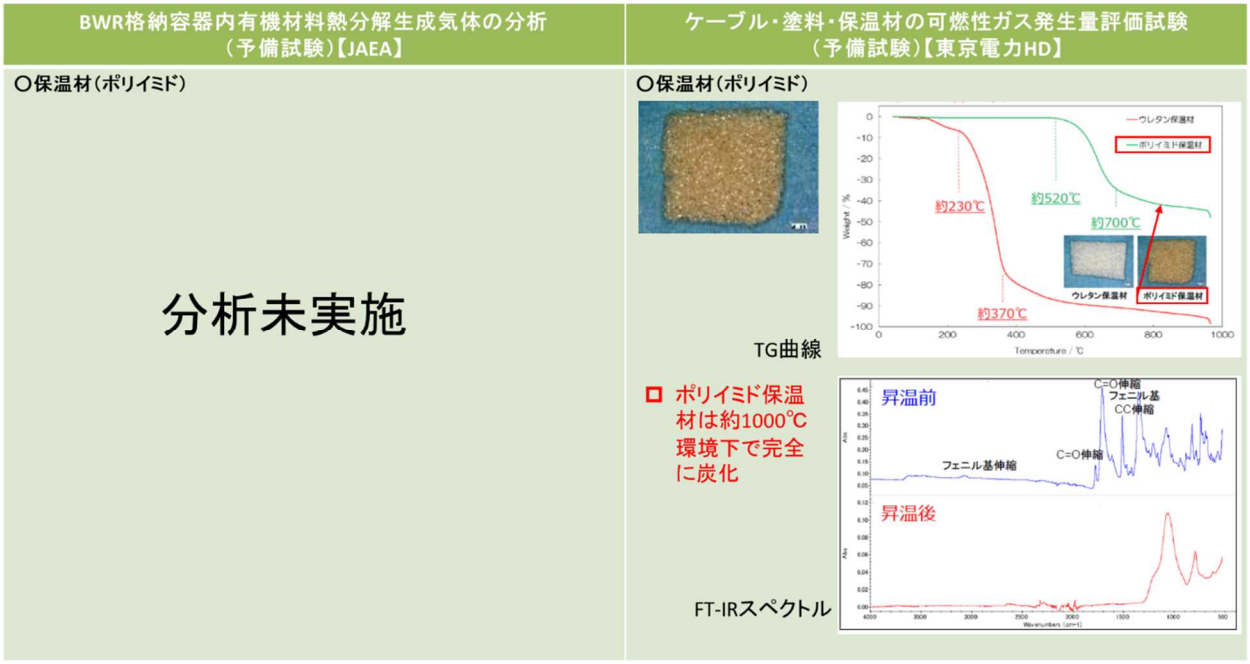
図 30-1　保温材の結果概要




| 試料 | | ウレタン保温材ガス発生量(m3/t) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 環境 | | 水素ガス | | | 水蒸気 | | | 水蒸気 |
| 温度（℃） | | RT～230 | 230～370 | 370～1000 | RT～230 | 230～370 | 370～1000 | 200 |
| H2 | | － | － | － | － | － | 2.64E+02 | － |
| CO | | － | － | － | － | － | 1.16E+02 | － |
| | CH4 | 5.83E-04 | 1.25E-03 | 7.35E+00 | 6.29E-03 | 1.09E-03 | 2.72E+01 | 5.49E-03 |
| | C2H4 | － | 4.17E-04 | 5.43E-01 | 3.59E-03 | 7.03E-04 | 6.68E+00 | － |
| | C2H6 | － | 5.00E-04 | 6.83E-01 | 8.98E-04 | 1.56E-04 | 1.25E+00 | － |
| 炭 | C3H6 | － | 1.92E-02 | 5.95E-01 | 2.70E-03 | 5.47E-04 | 3.63E+00 | － |
| 化 | C3H8 | 2.92E-04 | 5.00E-04 | 1.51E-01 | 1.80E-03 | 3.13E-04 | 4.30E-01 | 1.37E-03 |
| 水 | i-C4H10 | － | － | － | － | － | － | － |
| 素 | n-C4H10 | － | － | － | － | 7.81E-05 | 6.00E-02 | － |
| | i-C5H12 | － | 1.17E-03 | 1.23E-02 | － | － | － | － |
| | n-C5H12 | － | 3.08E-03 | 2.28E-02 | － | － | 1.36E-02 | － |
| | 上記以外のC1～C5（CH4換算値） | 1.52E-01 | 2.17E-01 | 3.15E-01 | 5.03E-01 | 2.27E-01 | 2.15E+00 | 8.37E-01 |
| | CH4換算合計値 | 1.55E-01 | 2.92E-01 | 1.24E+01 | 5.30E-01 | 2.34E-01 | 5.66E+01 | 8.51E-01 |
| NH3 | | － | － | 6.48E-01 | － | － | 3.96E-03 | － |
| H2S | | 8.75E-05 | 7.50E-05 | － | 7.28E-03 | 9.38E-04 | 4.30E-02 | 4.67E-03 |

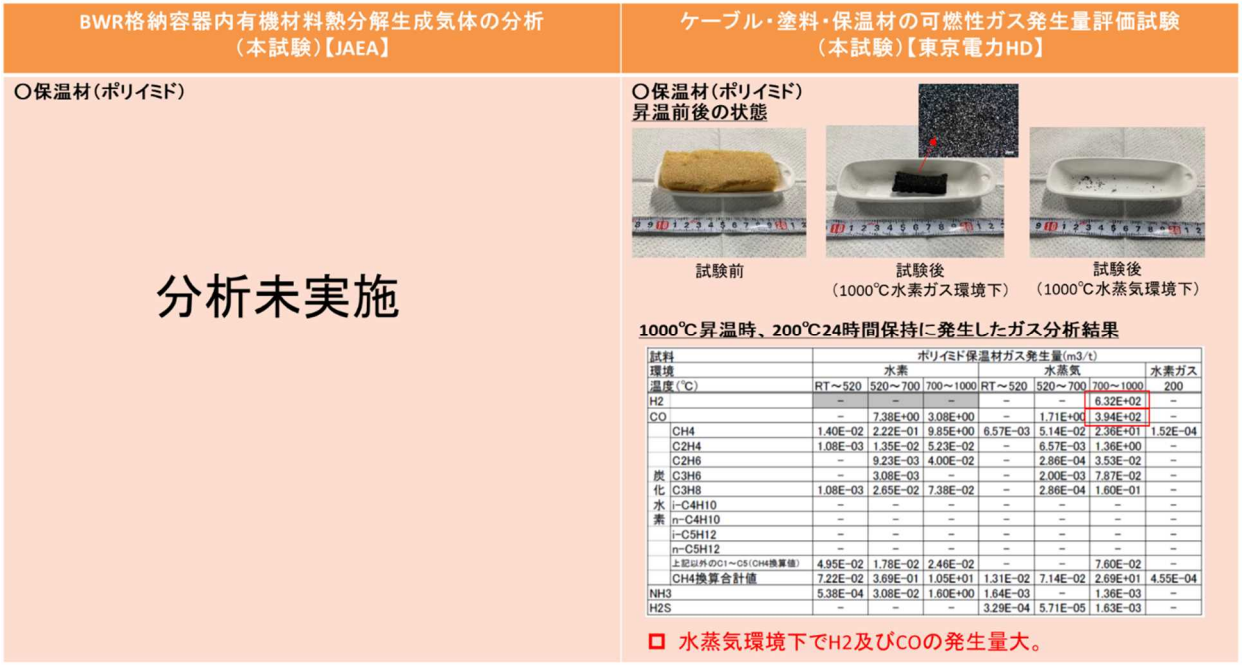
出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 30-2　保温材の結果概要




出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

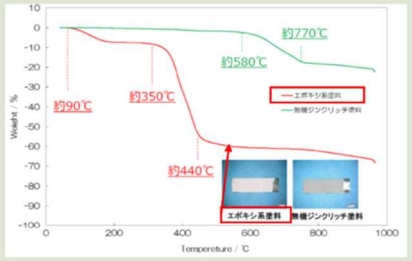
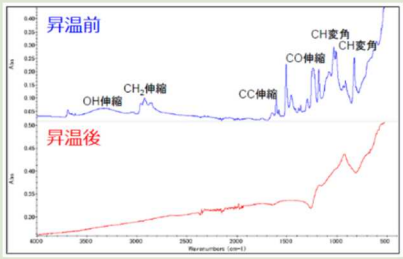
図 30-3　保温材の結果概要




| 試料 | | ポリイミド保温材ガス発生量(m3/t) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 環境 | | 水素 | | | 水蒸気 | | | 水素ガス |
| 温度(℃) | | RT～520 | 520～700 | 700～1000 | RT～520 | 520～700 | 700～1000 | 200 |
| H2 | | – | – | – | – | – | 6.32E+02 | – |
| CO | | – | 7.38E+00 | 3.08E+00 | – | 1.71E+00 | 3.94E+02 | – |
| 炭化水素 | CH4 | 1.40E-02 | 2.22E-01 | 9.85E+00 | 6.57E-03 | 5.14E-02 | 2.36E+01 | 1.52E-04 |
| | C2H4 | 1.08E-03 | 1.35E-02 | 5.23E-02 | – | 6.57E-03 | 1.36E+00 | – |
| | C2H6 | – | 9.23E-03 | 4.00E-02 | – | 2.86E-04 | 3.53E-02 | – |
| | C3H6 | – | 3.08E-03 | – | – | 2.00E-03 | 7.87E-02 | – |
| | C3H8 | 1.08E-03 | 2.65E-02 | 7.38E-02 | – | 2.86E-04 | 1.60E-01 | – |
| | i-C4H10 | – | – | – | – | – | – | – |
| | n-C4H10 | – | – | – | – | – | – | – |
| | i-C5H12 | – | – | – | – | – | – | – |
| | n-C5H12 | – | – | – | – | – | – | – |
| | 上記以外のC1～C5(CH4換算値) | 4.95E-02 | 1.78E-02 | 2.46E-02 | – | – | 7.60E-02 | – |
| | CH4換算合計値 | 7.22E-02 | 3.69E-01 | 1.05E+01 | 1.31E-02 | 7.14E-02 | 2.69E+01 | 4.55E-04 |
| NH3 | | 5.38E-04 | 3.08E-02 | 1.60E+00 | 1.64E-03 | – | 1.36E-03 | – |
| H2S | | – | – | – | 3.29E-04 | 5.71E-05 | 1.63E-03 | – |

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 30-4　保温材の結果概要

| BWR格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析<br>（予備試験）【JAEA】 | ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験<br>（予備試験）【東京電力HD】 |
|---|---|
| ○塗料（エポキシ系塗料）<br><br>分析未実施 | ○塗料（エポキシ系塗料）<br>  <br>  <br><br>TG曲線<br>□ エポキシ系塗料は約1000℃環境下で完全に炭化<br>  <br><br>FT-IRスペクトル |

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 31-1　塗料の結果概要

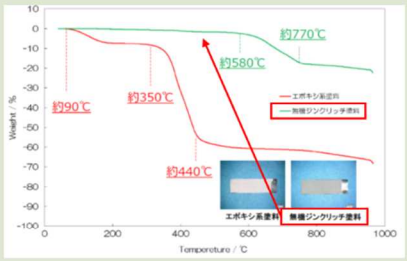
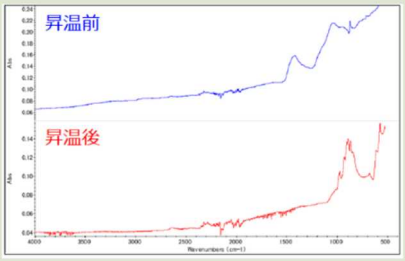
| BWR格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析<br>（本試験）【JAEA】 | ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験<br>（本試験）【東京電力HD】 |
|---|---|
| ○塗料（エポキシ系塗料）<br><br>分析未実施 | ○塗料（エポキシ系塗料）<br>昇温前後の状態<br>  <br>試験前　試験後（1000℃水素ガス環境下）　試験後（1000℃水蒸気環境下）<br>1000℃昇温時、200℃24時間保持に発生したガス分析結果 |

| 試料 | | エポキシ系塗料ガス発生量(m3/t) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 環境 | | 水素ガス | | | 水蒸気 | | | 水蒸気 |
| 温度(℃) | | RT～200 | 200～600 | 600～1000 | RT～200 | 200～600 | 600～1000 | 200 |
| H2 | | － | － | － | － | － | 1.31E+02 | － |
| CO | | － | － | 1.50E+00 | － | － | 2.05E+01 | － |
| 炭化水素 | CH4 | 1.97E-04 | 2.36E-01 | 3.74E+00 | 1.11E-02 | 2.39E-02 | 1.57E+01 | 8.24E-03 |
| | C2H4 | － | 4.13E-02 | 2.69E-01 | 8.55E-03 | 4.87E-03 | 4.44E+00 | － |
| | C2H6 | － | 5.51E-02 | 2.17E-01 | 2.56E-03 | 3.42E-03 | 5.40E-01 | － |
| | C3H6 | － | 3.94E-02 | 1.72E-02 | 6.84E-03 | 3.76E-03 | 6.22E-01 | － |
| | C3H8 | 1.97E-04 | 1.91E-02 | 8.23E-03 | 2.56E-03 | 1.45E-03 | 1.37E-01 | 2.06E-03 |
| | i-C4H10 | － | － | － | － | 4.27E-04 | － | － |
| | n-C4H10 | － | 5.71E-03 | － | 1.71E-03 | 3.42E-04 | 3.76E-02 | － |
| | i-C5H12 | － | － | － | － | － | － | － |
| | n-C5H12 | － | 3.54E-03 | － | － | 5.13E-04 | 1.91E-02 | － |
| | 上記以外のC1～C5(CH4換算値) | 2.36E-03 | 1.24E-01 | 1.65E-02 | 3.59E-02 | 9.40E-03 | 8.21E-01 | 6.18E-02 |
| | CH4換算合計値 | 3.15E-03 | 7.28E-01 | 4.79E+00 | 1.11E-01 | 6.92E-02 | 2.87E+01 | 8.03E-02 |
| NH3 | | 1.97E-04 | 3.94E-02 | 1.50E-03 | － | － | － | － |
| H2S | | － | － | 8.98E-02 | － | － | 6.77E-01 | 4.12E-04 |

□ 水蒸気環境下でH2及び炭化水素（CH4換算）の発生量大。

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 31-2　塗料の結果概要

| BWR格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析（予備試験）【JAEA】 | ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（予備試験）【東京電力HD】 |
|---|---|
| ○塗料（無機ジンクリッチ塗料）<br>分析未実施 | ○塗料（無機ジンクリッチ塗料）<br>  <br>  <br>TG曲線<br>□ 無機ジンクリッチ塗料は主成分が有機物ではなく、可燃性ガスの発生はほとんど無いものと考えられる。<br>  <br>FT-IRスペクトル |

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 31-3　塗料の結果概要

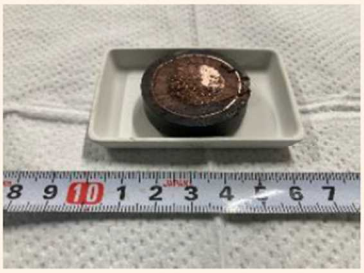
| BWR格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析（本試験）【JAEA】 | ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（本試験）【東京電力HD】 |
|---|---|
| ○塗料（無機ジンクリッチ塗料）<br>分析未実施 | ○塗料（無機ジンクリッチ塗料）<br>分析未実施 |

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－１及び資料１－２

図 31-4　塗料の結果概要

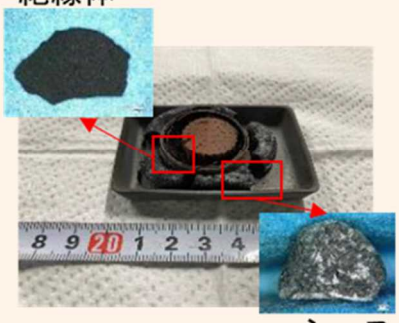
## ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（200℃24時間保持試験）【東京電力HD】

○CVケーブル



試験前

絶縁体

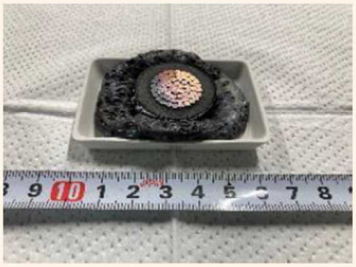


試験後
（1000℃水素ガス環境下）

シース



試験後
（1000℃水蒸気環境下）



試験後
（200℃水蒸気環境下）

| 試料 | | CVケーブル | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 環境 | | 水素 | | | 水蒸気 | | | 水蒸気 |
| 温度 | ℃ | RT～350 | 350～500 | 500～1000 | RT～350 | 350～500 | 500～1000 | 200 |
| ガス発生量 | L | 1.2 | 3.0 | 43.4 | 2.1 | 0.3 | 7.9 | 3.3 |
| （合計） | L | 47.6 | | | 10.3 | | | 3.3 |
| ケーブル長さ | mm | 9.5 | | | 9.0 | | | 9.0 |
| 試験前試料重量 | g | 31.65 | | | 27.57 | | | 33.25 |
| 試験後試料重量 | g | 24.55 | | | 20.26 | | | 32.71 |
| 減量 | g | 7.10 | | | 7.31 | | | 0.54 |
| 減量 | % | 22.4 | | | 26.5 | | | 1.6 |

※導体等含む結果

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－２

図 32-1　200℃24 時間保持試験の概要（CV ケーブル）

## ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（200℃C24時間保持試験）【東京電力HD】

○PNケーブル



試験前



試験後
（1000°C水素ガス環境下）



試験後
（1000°C水蒸気環境下）



試験後
（200°C水蒸気環境下）

| 試料 | | PNケーブル | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 環境 | | 水素ガス | | | 水蒸気 | | | 水蒸気 |
| 温度 | ℃ | RT～400 | 400～500 | 500～1000 | RT～400 | 400～500 | 500～1000 | 200 |
| ガス発生量 | L | 2.6 | 0.7 | 7.4 | 2.5 | 0.3 | 15.2 | 2.3 |
| （合計） | L | 10.7 | | | 18.0 | | | 2.3 |
| ケーブル長さ | mm | 80 | | | 80.0 | | | 80.0 |
| 試験前試料重量 | g | 17.12 | | | 17.47 | | | 17.30 |
| 試験後試料重量 | g | 9.71 | | | 7.94 | | | 16.77 |
| 減量 | g | 7.41 | | | 9.53 | | | 0.53 |
| 減量 | % | 43.3 | | | 54.6 | | | 3.1 |

※導体等含む結果

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－２

図 32-2　200℃C24 時間保持試験の概要（PN ケーブル）

## ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（200℃24時間保持試験）【東京電力HD】

○同軸ケーブル



試験前




試験後
（1000℃水素ガス環境下）



試験後
（1000℃水蒸気環境下）



試験後
（200℃水蒸気環境下）

| 試料 | | 同軸ケーブル | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 環境 | | 水素ガス | | | 水蒸気 | | | 水蒸気 |
| 温度 | ℃ | RT～400 | 400～540 | 540～1000 | RT～400 | 400～540 | 540～1000 | 200 |
| ガス発生量 | L | 1.1 | 0.2 | 2.3 | 2.3 | 0.2 | 0.9 | 2.8 |
| （合計） | L | 3.6 | | | 3.4 | | | 2.8 |
| ケーブル長さ | mm | 80.0 | | | 80.0 | | | 80.0 |
| 試験前試料重量 | g | 4.33 | | | 4.30 | | | 4.35 |
| 試験後試料重量 | g | 2.28 | | | 2.18 | | | 4.31 |
| 減量 | g | 2.05 | | | 2.12 | | | 0.04 |
| 減量 | % | 47.3 | | | 49.3 | | | 0.9 |

※導体等含む結果

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－２

図 32-3　200℃24 時間保持試験の概要（同軸ケーブル）

## ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（200℃C24時間保持試験）【東京電力HD】

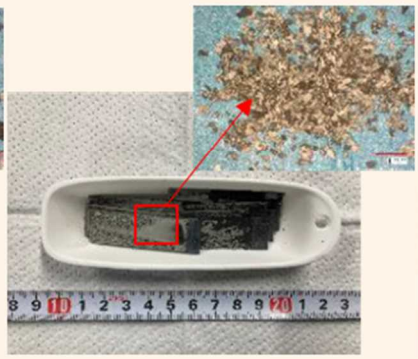
○エポキシ系塗料



試験前



試験後
（1000°C水素ガス環境下）



試験後
（1000°C水蒸気環境下）



試験後
（200°C水蒸気環境下）

| 試料 | | エポキシ系塗料 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 環境 | | 水素 | | | 水蒸気 | | | 水蒸気 |
| 温度(℃) | ℃ | RT～200 | 200～600 | 600～1000 | RT～200 | 200～600 | 600～1000 | 200 |
| ガス発生量 | L | 0.5 | 0.5 | 1.9 | 2.0 | 0.2 | 1.6 | 4.2 |
| （合計） | L | 2.9 | | | 3.8 | | | 4.2 |
| 試験前試料重量(塗料) | g | 2.54 | | | 2.34 | | | 8.04 |
| 試験後試料重量(塗料) | g | 0.82 | | | 0.75 | | | 7.86 |
| 減量 | g | 1.72 | | | 1.59 | | | 0.18 |
| 減量 | % | 67.7 | | | 67.9 | | | 2.2 |

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－２

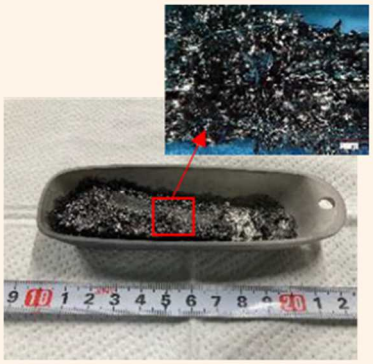
図 32-4　200℃C24 時間保持試験の概要（エポキシ系塗料）

## ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（200℃C24時間保持試験）【東京電力HD】

○ウレタン保温材



試験前



試験後
（1000°C水素ガス環境下）



試験後
（1000°C水蒸気環境下）



試験後
（200°C水蒸気環境下）

| 試料 | | ウレタン保温材 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 環境 | | 水素ガス | | | 水蒸気 | | | 水蒸気 |
| 温度 | ℃ | RT～230 | 230～370 | 370～1000 | RT～230 | 230～370 | 370～1000 | 200 |
| ガス発生量 | L | 0.7 | 0.2 | 4.2 | 2.3 | 0.2 | 2.9 | 3.5 |
| （合計） | L | 5.1 | | | 5.4 | | | 3.5 |
| 試験前試料重量 | g | 2.40 | | | 2.56 | | | 2.55 |
| 試験後試料重量 | g | 0.43 | | | 0.00 | | | 1.61 |
| 減量 | g | 1.97 | | | 2.56 | | | 0.94 |
| 減量 | % | 82.1 | | | 100.0 | | | 36.9 |

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－２

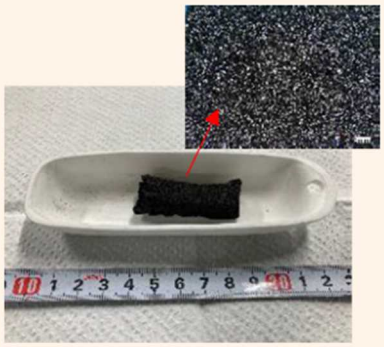
図 32-5　200℃C24 時間保持試験の概要（ウレタン保温材）

## ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験（200℃C24時間保持試験）【東京電力HD】

○ポリイミド保温材



試験前



試験後
（1000°C水素ガス環境下）



試験後
（1000°C水蒸気環境下）



試験後
（200°C水素ガス環境下）

| 試料 | | ポリイミド保温材 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 環境 | | 水素ガス | | | 水蒸気 | | | 水素ガス※ |
| 温度 | ℃ | RT～520 | 520～700 | 700～1000 | RT～520 | 520～700 | 700～1000 | 200 |
| ガス発生量 | L | 0.7 | 0.4 | 2.0 | 2.3 | 0.2 | 1.9 | <0.1 |
| （合計） | L | 3.1 | | | 4.4 | | | <0.1 |
| 試験前試料重量 | g | 0.65 | | | 0.70 | | | 0.66 |
| 試験後試料重量 | g | 0.23 | | | 0.01 | | | 0.64 |
| 減量 | g | 0.42 | | | 0.69 | | | 0.02 |
| 減量 | % | 64.6 | | | 98.6 | | | 3.0 |

出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第 29 回会合）資料１－２

図 32-6　200℃C24 時間保持試験の概要（ポリイミド保温材）

## ３．まとめ

2021 年度に JAEA 及び東京電力が実施したケーブル等加熱試験の結果、水蒸気のないドライな環境で酸素のない条件下では、ケーブル等の有機物が加熱により熱分解することで、可燃性有機ガスが発生する可能性を示唆するが、量的には限られたものである可能性が大きい。

また、東京電力の水蒸気環境下の加熱試験の結果は、PCV 内のケーブル等の有機物の分解が大幅に促進される可能性を示しており、200℃水蒸気環境下ではウレタン保温材試料が液化することが確認された。本来、PCV 内には 2%程度の酸素が存在していること及び水蒸気環境が想定されることから、2022 年度には、JAEA 及び東京電力において、酸素含有条件下を含めて水蒸気環境下等の PCV 内の環境条件を考慮した試験を継続している。

なお、東京電力の試験結果は、1 号機原子炉格納容器内部調査で確認された原子炉再循環系配管のウレタン保温材の消失にも関係している可能性がある。

これまでの調査・分析から原子炉格納容器内における可燃性有機ガスの発生が確認されたことから、調査チームにおいては、deflagration を想定した水素燃焼試験の実施及び可燃性有機ガスの水素燃焼への影響を確認する予定である。また、東京電力において、水素燃焼時の可燃性有機ガスの添加による火炎色及び発煙への影響を確認する予定である。

## 引用文献等


１）東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（第３１回会合）資料４－３
https://www.nra.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/jiko_bunseki01/140000075.html

２）東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（第３０回会合）資料３－２
https://www.nra.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/jiko_bunseki01/140000073.html

３）東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（第２９回会合）資料１－１及び資料１－２

https://www.nra.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/jiko_bunseki01/140000070.html
4）東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（第２８回会合）資料３－１及び資料４－１
https://www.nra.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/jiko_bunseki01/140000067.html
5）東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（第２７回会合）資料５－２
https://www.nra.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/jiko_bunseki01/140000066.html
6）東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（第２６回会合）資料４－２
https://www.nra.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/jiko_bunseki01/140000065.html
7）東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（第２３回会合）資料４－１及び資料５－２
https://www.nra.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/jiko_bunseki01/140000061.html
8）東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（第２２回会合）資料５－１
https://www.nra.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/jiko_bunseki01/140000060.html
9）令和 3 年度原子力規制庁委託成果報告書（東京電力福島第一原子力発電所プラント内核種移行に関する調査）令和 4 年 3 月　国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
https://www.nra.go.jp/data/000404661.pdf

（別添８）

# BWR 格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析

日本原子力研究開発機構　安全研究・防災支援部門
規制・国際情報分析室
福島第一原子力発電所事故分析チーム
飯田　芳久、大野　卓也

## １．BWR 格納容器内のケーブル試料等の加熱試験

事故分析検討会における 3 号機原子炉建屋の水素爆発時の映像分析の結果等から、爆発時原子炉建屋内には水素だけでなく、有機化合物を含む可燃性ガスが存在していた可能性が示唆されている。

BWR の格納容器内には、原子炉圧力容器及び格納容器周辺に可燃性有機ガスの発生源となり得るケーブルや保温材が存在することから、これらのケーブルや保温材に使用されている代表的な有機材料を加熱し、熱分解により生成するガスの成分を分析した。

ケーブル試料等の加熱試験に当たっては、東京電力が別途行う可燃性有機ガス発生量評価と比較検討し、分析結果の確度を上げ、より効率的に進めるため、東京電力から提供された、3 号機で使用されているケーブル及び保温材の同材品及び類似品である、柏崎刈羽原子力発電所 7 号機で使用されているケーブル、保温材を使用し、東京電力の可燃性有機ガス発生量評価の試料と同じ試料を用いることとした。

## ２．試料分析の結果

表 1 に示す東京電力 HD より提供された 4 試料を対象とし、示差熱天秤－質量分析（TG-DTA-MS）装置による熱分解試験を実施した。異なる昇温速度（10℃／分及び 20℃／分）において概ね同様の傾向が得られたため、ここでは、10℃／分の分析結果について述べる。表 2 及び図 1 から図 4 に示す通り、TG 分析において各試料とも複数の温度範囲において明確な重量減少が見られた。1200℃までの加熱により、特殊クロロプレンゴムを除いた 3 試料は、初期重量の約 70%から 80%が減少した。特殊クロロプレンゴムの重量減少は約 50%であり、可燃性及び不燃性を含めた熱分解ガスの生成重量が相対的に少ない。最も顕著な重量減少が生じた温度範囲、すなわち熱分解ガスの生成が著しいと考えられる温度範囲は、難燃性エチレンプロピレンゴム、特殊クロロプレンゴム、難燃性特殊耐熱ビニル及びウレタンについて、それぞれ 395～500℃、307～404℃、280～376℃及び 246～421℃であった。存在量の多いウレタン(約 8m$^3$)[1]の重量減少が、比較的低い温度範囲（約 200～400℃）におい

[1] 東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会　第 28 回　資料 2-1

て顕著（約 70%）であり、潜在的な熱分解ガス生成源として重要度が高いことが示唆された。

図 1 から図 4 には、TG データに加えて、二酸化炭素（$CO_2$）及び水（$H_2O$）と推定される質量数 44 及び 18 の MS シグナルの変化並びに質量数 16 の MS シグナルをプロットしている。質量数 16 の化合物としてメタンがあるが、酸素原子やアンモニア由来の可能性もある。全ての試料において、質量数 18 のピーク強度が高い。質量数 44 に関しては、難燃性特殊耐熱ビニル及びウレタンでは、質量数 18 と同程度のピーク強度であるのに対し、難燃性エチレンプロピレンゴム及び特殊クロロプレンゴムのピーク強度は質量数 18 よりも低い。また、質量数 16 のピーク強度は、全試料において質量数 18 のピーク強度を大きく下回っている。質量数 16 の他にも有機化合物と思われる幅広い質量数の MS シグナルが多数検出されたが、それらの多くは、質量数 16 のピーク強度と同程度あるいはそれよりも低い値であった。ピーク強度は、物質によって異なる MS の感度に依存するため、ピーク強度のみから確度の高い定量的な評価はできないものの、難燃性エチレンプロピレンゴム及び特殊クロロプレンゴムにおいては $H_2O$ が、難燃性特殊耐熱ビニル及びウレタンにおいては $H_2O$ 及び $CO_2$ が大きな割合を占める熱分解ガスである可能性が高いと推定される。

TG-DTA-MS 分析における MS シグナルのピーク強度が低いとはいえ、有機化合物と考えられる熱分解ガスが数多く検出され、総量としては無視し得ないと考えられる。表 2 に示す温度範囲において生成された有機化合物を推定するために、熱分解 GC-MS により熱分解ガスの構成成分を分離・分析した。後述するように、本熱分解 GC-MS に用いた GC の分離カラムは、無機化合物や炭素数 3 以下の低分子量有機化合物の分離には適していない。熱分解 GC-MS 分析の一例として、ウレタンの室温～246℃における熱分解ガスのクロマトグラムを図 5 に示す。クロマトグラムのピーク面積を求め、上位 10 ピークについて、取得した各ピークのマススペクトルデータをライブラリデータと照合し、類似度（最大 1000）の最も高い物質を同定した。マススペクトルデータとライブラリデータの比較例を図 6 に示す。この例においてはライブラリデータとの類似度が 930 であり、マススペクトルの特徴が両者でほぼ一致している。成分分析の確度に関する類似度の基準値はないが、ここでは 800 を目安として、それ以上の類似度で化合物が推定できたピークについて分析結果を表 3 から表 13 にまとめた。試料に使用されている材料由来の化合物（例えば、ウレタンの場合はジクロロプロパン、リン酸エステル、アニリン等）を含めて、多種多様な高分子量の有機化合物が熱分解により生成されることが示された。TG-MS 及び熱分解 GC-MS 分析の結果を総合的に評価すると、生成された有機化合物の分子中に含まれる炭素を合算すると有意な量になると推定でき、原子炉建屋内水素爆発時における有色火炎の生成要因になり得ると考えられる。

本分析は、窒素雰囲気下で実施した定性分析である。今後、より酸化性の高い雰

囲気条件を含め、成分に応じた分離カラムと検出器を用いて無機成分、低分子量有機成分や総有機炭素量の分析を進める計画である。

## ３．試料分析の目的及び手法

3 号機原子炉建屋の水素爆発時に発生した可能性のある、可燃性有機ガスの発生源、成分や量について知見を得ることを目的とし、BWR 格納容器内に存在するケーブル材、保温材等に使用されている代表的な有機材料（表 1）に対して熱分解生成ガスの分析を行った。格納容器内での使用量が多く、可燃性有機ガスの発生が考えられる物を試料として選定し[2]、加熱による重量変化等を計測するとともに、熱分解により生成されるガスの成分を推定した。

### （１）TG-DTA-MS 法

各試料を窒素雰囲気中、昇温速度 10℃/分または 20℃/分で 1200℃まで加熱し、試料の重量変化（TG)、熱分解時の示差熱（DTA）及び熱分解生成ガスに由来する物質の質量（MS）を連続的に分析した。本手法により、熱分解による顕著な重量変化が生じる温度範囲を把握するとともに、熱分解生成ガスの成分を大まかに推定した。なお、本手法は気体の分離機構を持たないため、複数のガスが同温度で発生した場合の定性は困難である。

### （２）熱分解 GC-MS 法

ガスクロマトグラフ（GC）により気体成分の分離が可能な熱分解 GC-MS 法を用いて、主な発生ガス成分の推定を試みた。各試料を窒素雰囲気中で加熱し、TG 分析により把握した熱分解の温度範囲（表２）で生成したガスを捕集し、カラムにより成分を分離するとともに、MS データ（クロマトグラム及びマススペクトル）を取得・分析した。なお、カラムの特性により分離可能なガス成分が異なるが、本分析では主として炭素数 4 以上（分子量 50 程度以上）の有機化合物を対象としたカラムを選択した。

各温度範囲で取得したクロマトグラム（一例を図 5 に示す）において面積値が上位 10 成分のピークを対象として、マススペクトルデータのライブラリ解析を行った。ライブラリ解析では、測定されたマススペクトルデータと解析ソフトに付属するライブラリのマススペクトルデータ（ライブラリデータ）をコンピュータが照合し、その類似度を数値化する。本分析においては、最も類似度（最大 1000）の高い化合物を推定化合物として定性した（一例を図 6 に示す)。

[2] 東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会　第 22 回　資料 5-1

表１　分析に供したケーブル等の有機材料

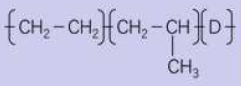
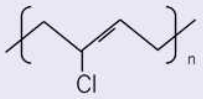
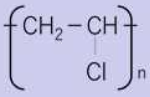
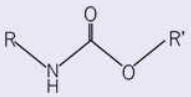
| 試料番号 | 材質 | 用途 | 写真 | 構造式 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 難燃性エチレンプロピレンゴム | 原子炉容器下部制御・計装PNケーブルの絶縁材 |  |  |
| 2 | 特殊クロロプレンゴム | 原子炉容器下部制御・計装PNケーブルのシース |  |  |
| 3 | 難燃性特殊耐熱ビニル | 高圧動力用CVケーブルのシース |  |  |
| 4 | ウレタン | 保温材 |  |  |

表２　TG-MS 分析において試料の重量減少が生じた温度範囲と重量減少割合

| 試料 | 重量減少が生じた温度範囲（℃） | | | 1200℃での重量減少割合（%） |
|---|---|---|---|---|
| 難燃性エチレンプロピレンゴム | 210～321 | 321～395 | 395～500 | 72 |
| 特殊クロロプレンゴム | 230～307 | 307～404 | 404～527 | 53 |
| 難燃性特殊耐熱ビニル | 280～376 | 376～560 | 560～800 | 75 |
| ウレタン | 160～246 | 246～421 | 421～580 | 82 |

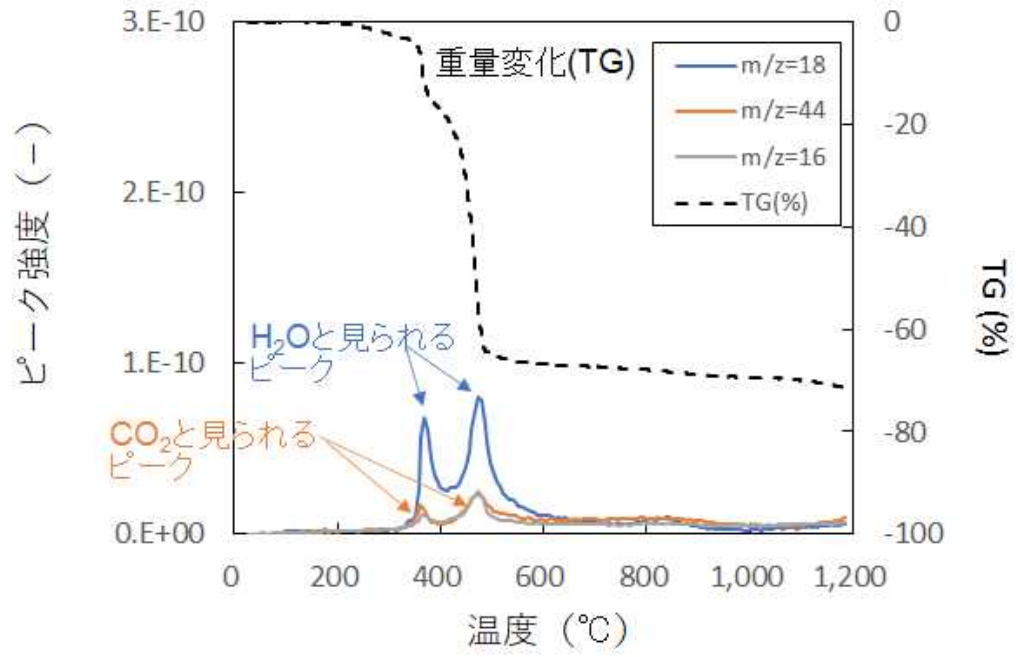



図１　TG-MS 分析における MS 分析結果（難燃性エチレンプロピレンゴム）
（m：分析時に生成したイオンの質量、z：イオンの電荷（通常 1））

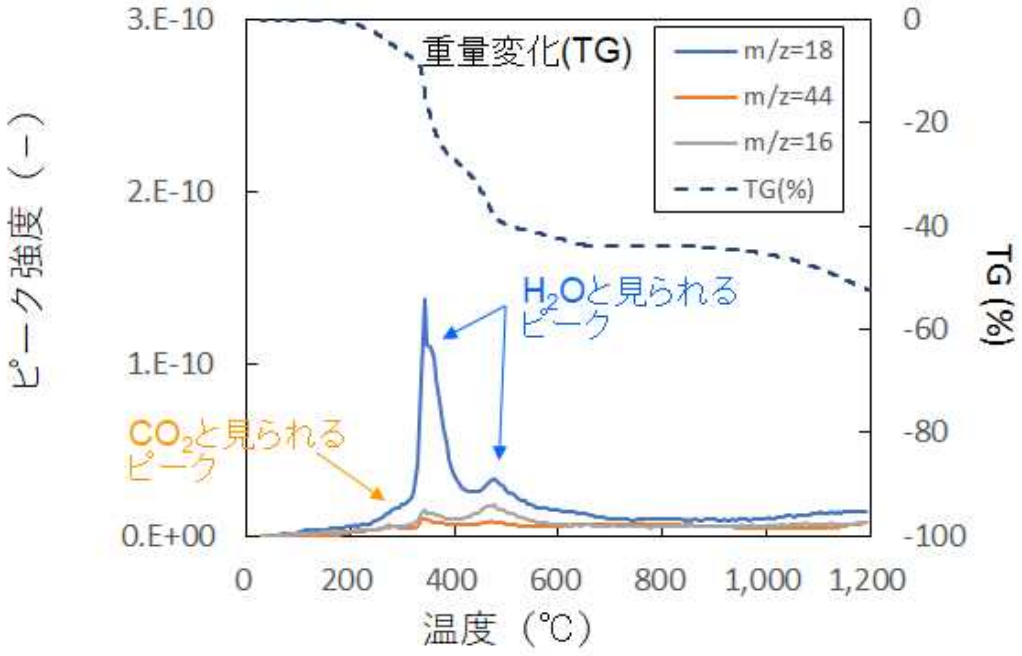



図２　TG-MS 分析における MS 分析結果（特殊クロロプレンゴム）

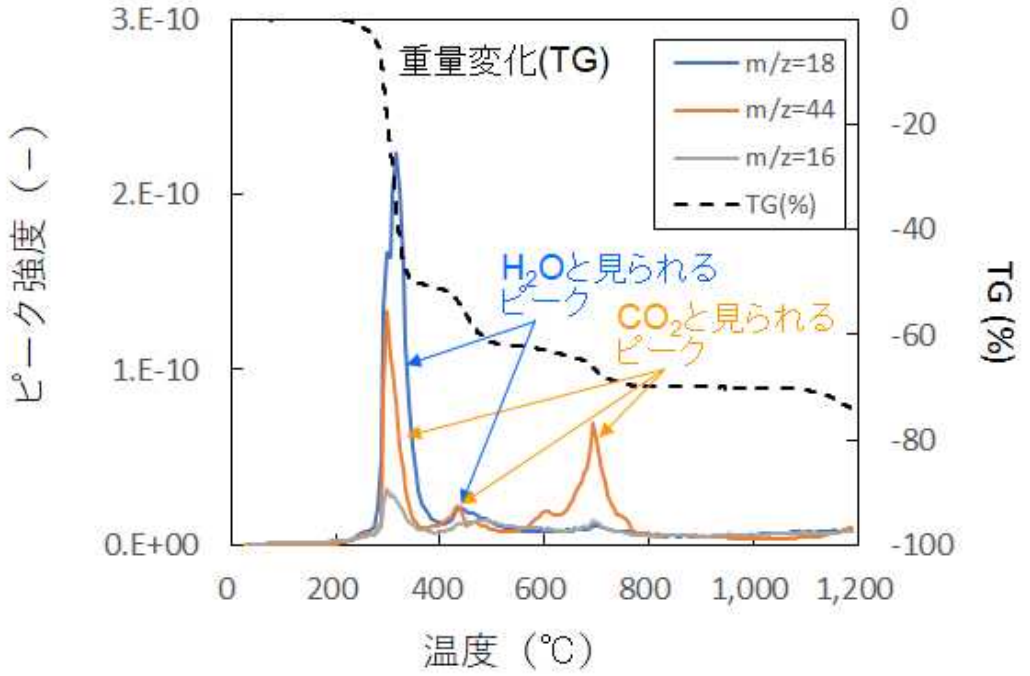



図３　TG-MS 分析における MS 分析結果（難燃性特殊耐熱ビニル）

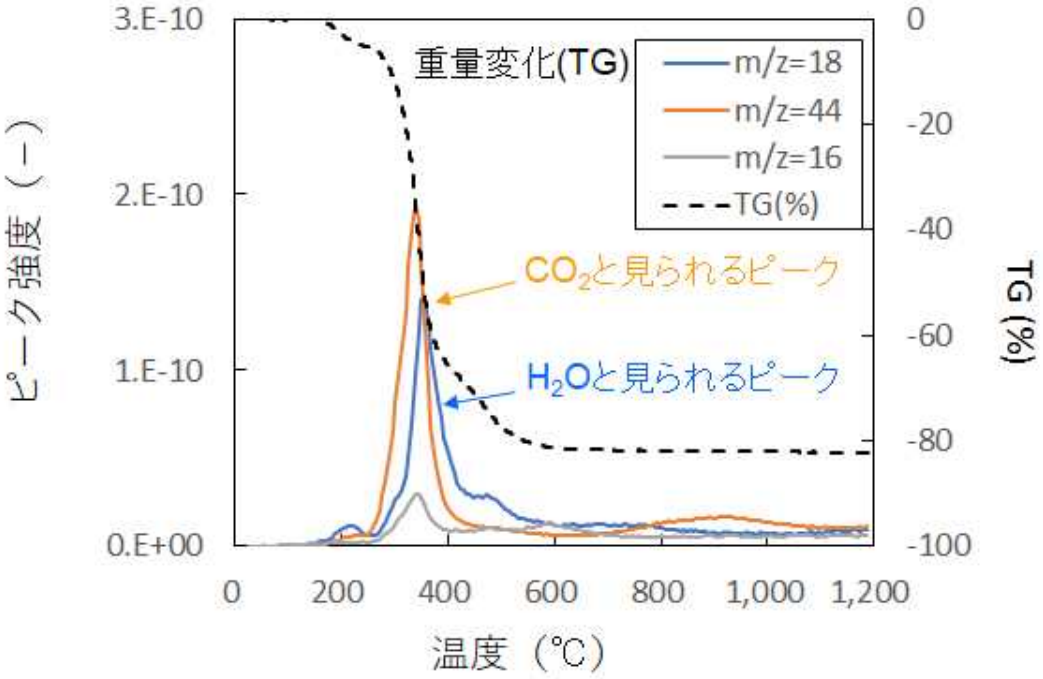



図４　TG-MS 分析における MS 分析結果（ウレタン）

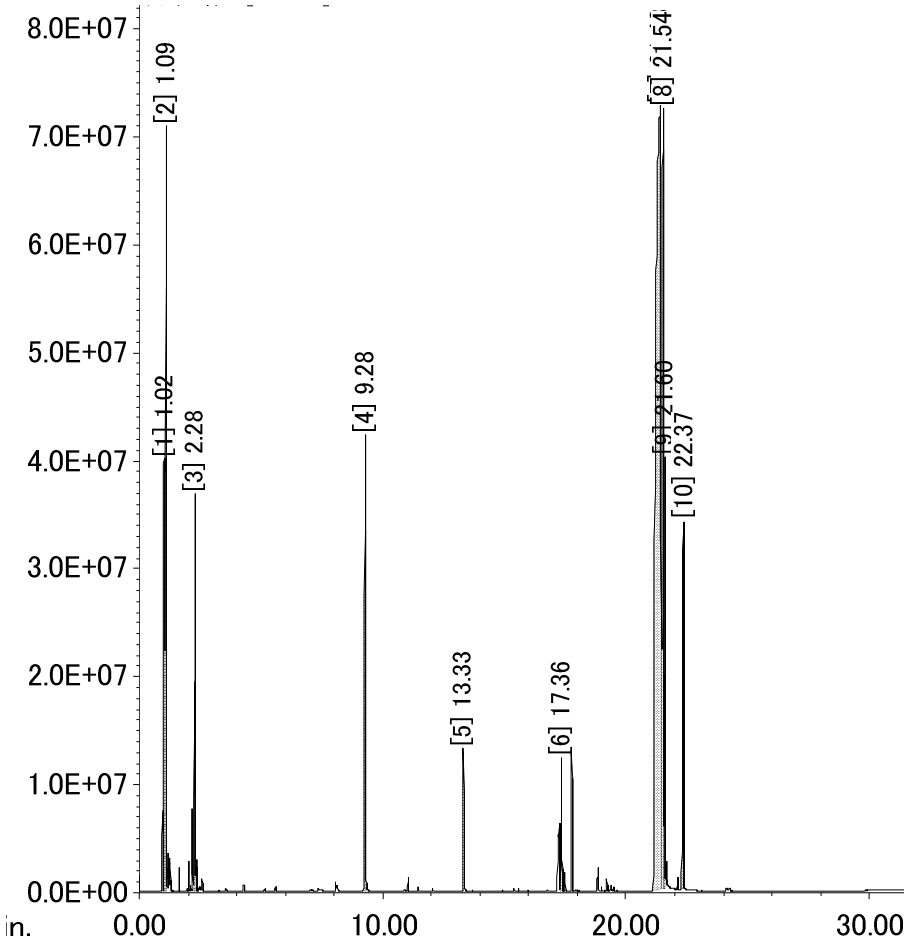



図５　熱分解 GC-MS 分析においてウレタン試料を 246℃まで加熱して生成したガスのクロマトグラム（縦軸はピーク強度、横軸は時間（分）を示す）

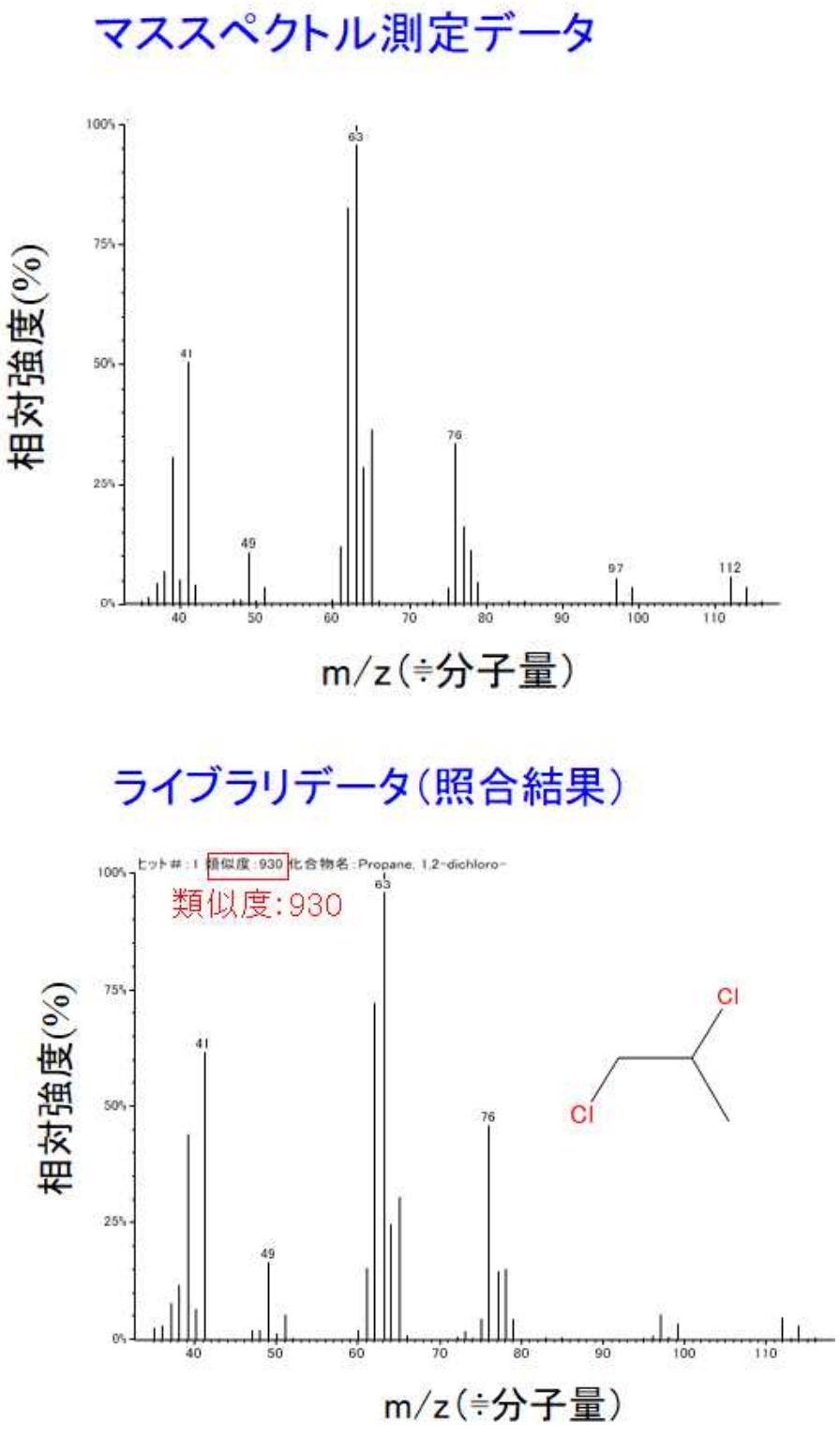
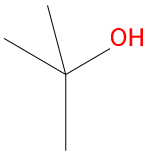
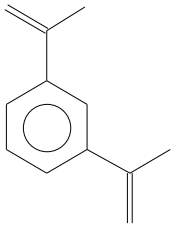
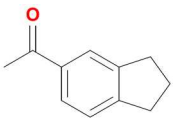
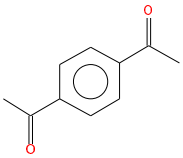
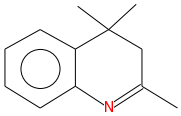



図６　熱分解 GC-MS 分析におけるマススペクトル測定データのライブラリ解析の例（図３のピーク[3]に対応するガス成分）

表３　熱分解 GC-MS 分析データの解析結果
（難燃性エチレンプロピレンゴム 321℃）

| ピーク No. | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 推定化合物 | tert-ブチルアルコール | 1,3-ジイソプロペニルベンゼン | 5-アセチルインダン | 1,4-ジアセチルベンゼン | 2,4,4-トリメチル-3,4-ジヒドロキノリン |
| 類似度 | 898 | 915 | 913 | 929 | 855 |
| 構造式 |  |  |  |  |  |

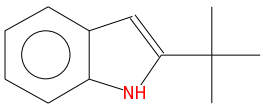
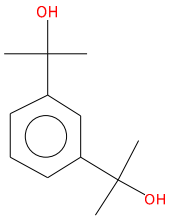
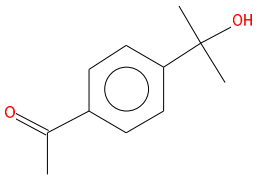
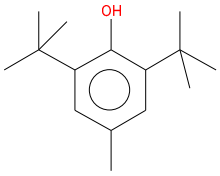
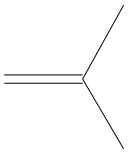
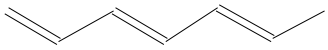
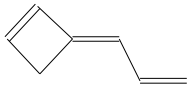
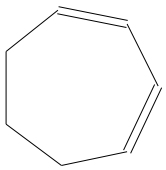
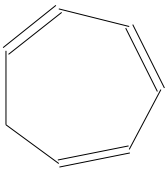
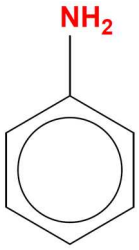
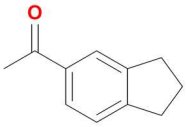
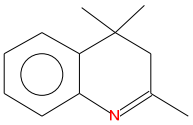
| ピーク No. | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| 推定化合物 | 2-tert-ブチル-1H-インドール | メタジオール | 4'-(1-ヒドロキシ-1-メチルエチル)アセトフェノン | 2,6-ジ-tert-ブチル-p-クレゾール |
| 類似度 | 859 | 897 | 841 | 925 |
| 構造式 |  |  |  |  |

表４　熱分解 GC-MS 分析データの解析結果
（難燃性エチレンプロピレンゴム 395℃）

| ピーク No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 推定化合物 | イソブテン | (3E,5E)-1,3,5-ヘプタトリエン | (3E,5E)-1,3,5-ヘプタトリエン | 3-(2-プロペニリデン) シクロブテン | 1,3-シクロヘプタジエン |
| 類似度 | 869 | 895 | 903 | 946 | 889 |
| 構造式 |  |  | |  |  |

| ピーク No. | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|
| 推定化合物 | 1,3,5-シクロヘプタトリエン | アニリン | 5-アセチルインダン | 2,4,4-トリメチル-3,4-ジヒドロキノリン |
| 類似度 | 845 | 946 | 907 | 837 |
| 構造式 |  |  |  |  |

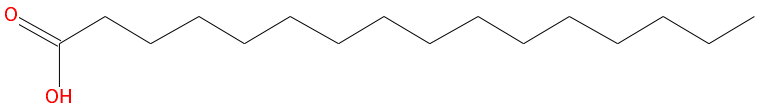
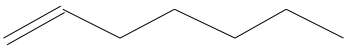
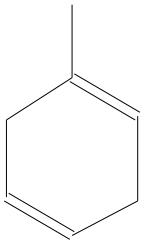
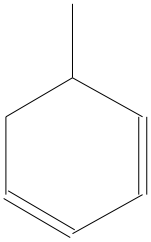
| ピーク No. | 10 |
|---|---|
| 推定化合物 | パルミチン酸 |
| 類似度 | 887 |
| 構造式 |  |

表５　熱分解 GC-MS 分析データの解析結果
（難燃性エチレンプロピレンゴム 500℃）

| ピーク No. | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|
| 推定化合物 | 1-ヘプテン | 1-メチル-1,4-シクロヘキサジエン | 1-メチルシクロヘキサ-2,4-ジエン |
| 類似度 | 906 | 887 | 881 |
| 構造式 |  |  |  |

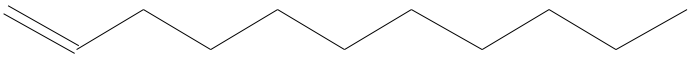
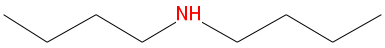
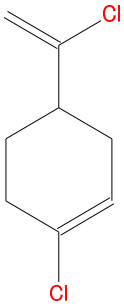
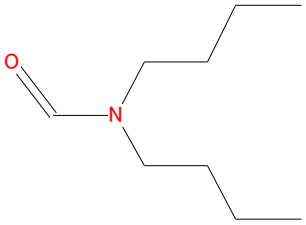
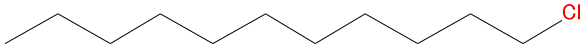
| ピーク No. | 10 |
|---|---|
| 推定化合物 | 1-ウンデセン |
| 類似度 | 891 |
| 構造式 |  |

表６　熱分解 GC-MS 分析データの解析結果（特殊クロロプレンゴム 307℃）

| ピーク No. | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|
| 推定化合物 | ジブチルアミン | 1-クロロ-4-(1-クロロエテニル)シクロヘキセン | N,N-ジブチル　ホルムアミド |
| 類似度 | 899 | 931 | 931 |
| 構造式 |  |  |  |

| ピーク No. | 6 |
|---|---|
| 推定化合物 | 1-クロロウンデカン |
| 類似度 | 888 |
| 構造式 |  |

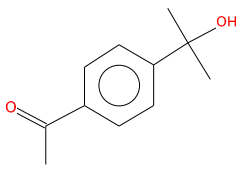
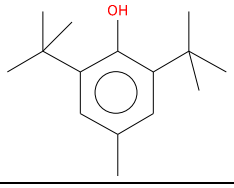
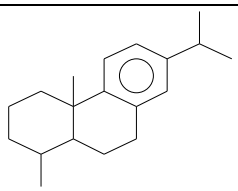
| ピーク No. | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|
| 推定化合物 | 4'-(1-ヒドロキシ-1-メチルエチル)アセトフェノン | 2,6-ジ-tert-ブチル-p-クレゾール | 4b,8-ジメチル-2-イソプロピルフェナントレン, 4b,5,6,7,8,8a,9,10-オクタヒドロ- |
| 類似度 | 836 | 941 | 829 |
| 構造式 |  |  |  |

表７　熱分解 GC-MS 分析データの解析結果（特殊クロロプレンゴム 404℃）

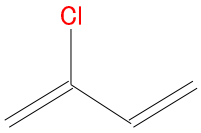
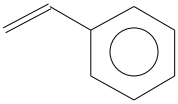
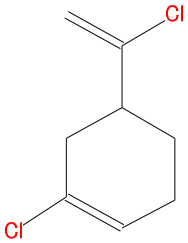
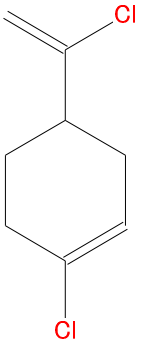
| ピーク No. | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| 推定化合物 | クロロプレン | スチレン | 2-クロロ-4-(1-クロロエテニル)シクロヘキセン | 1-クロロ-4-(1-クロロエテニル)シクロヘキセン |
| 類似度 | 847 | 944 | 933 | 930 |
| 構造式 |  |  |  |  |

表８　熱分解 GC-MS 分析データの解析結果（特殊クロロプレンゴム 527℃）

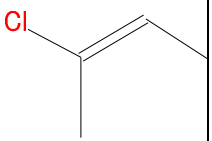
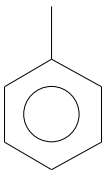
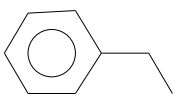
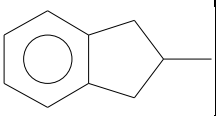
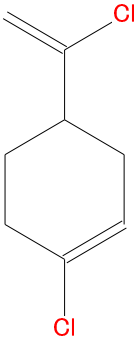
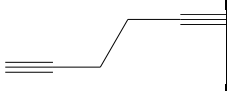
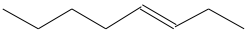
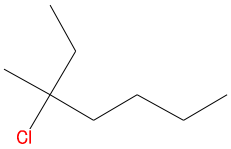
| ピーク No. | 4 | 5 | 6 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|
| 推定化合物 | 2-クロロ-2-ブテン | トルエン | エチルベンゼン | 2-メチルインダン | 1-クロロ-4-(1-クロロエテニル)シクロヘキセン |
| 類似度 | 838 | 900 | 881 | 807 | 880 |
| 構造式 |  |  |  |  |  |

表９　熱分解 GC-MS 分析データの解析結果（難燃性特殊耐熱ビニル 376℃）

| ピーク No. | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 推定化合物 | 1,5-ヘキサジイン | (E)-4-オクテン | (E)-3-オクテン | 3-クロロ-3-メチル-ヘプタン | |
| 類似度 | 851 | 904 | 876 | 821 | 805 |
| 構造式 |  |  |  |  | |

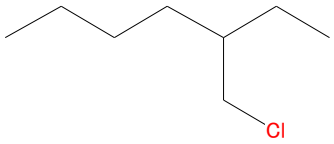
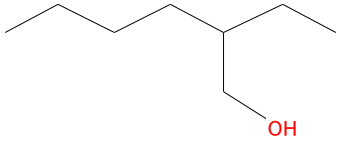
| ピーク No. | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|
| 推定化合物 | 3-クロロメチルヘプタン | 2-エチル-1-ヘキサノール | |
| 類似度 | 850 | 878 | 821 |
| 構造式 |  |  | |

表 10　熱分解 GC-MS 分析データの解析結果（難燃性特殊耐熱ビニル 560℃）

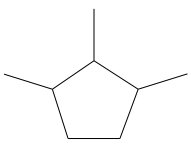
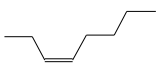
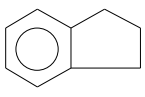
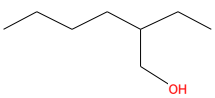
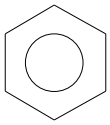
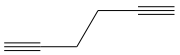
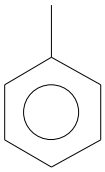
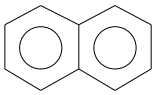
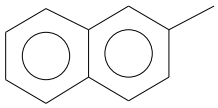
| ピーク No. | 3 | 4 | 5 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|
| 推定化合物 | 1,5-ヘキサジエン-3-イン | (1α,2α,3α)-1,2,3-トリメチルシクロペンタン | (Z)-3-オクテン | インダン | 2-エチル-1-ヘキサノール |
| 類似度 | 842 | 857 | 837 | 800 | 872 |
| 構造式 |  |  |  |  |  |

表 11　熱分解 GC-MS 分析データの解析結果（難燃性特殊耐熱ビニル 800℃）

| ピーク No. | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 推定化合物 | ベンゼン | 1,5-ヘキサジイン | トルエン | ナフタレン | 2-メチルナフタレン |
| 類似度 | 945 | 873 | 924 | 947 | 945 |
| 構造式 |  |  |  |  |  |

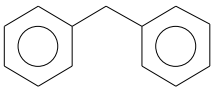
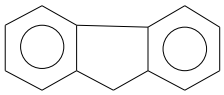
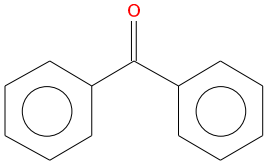
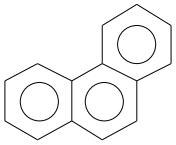
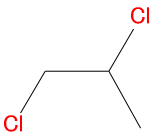
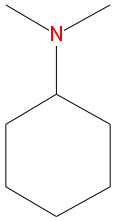
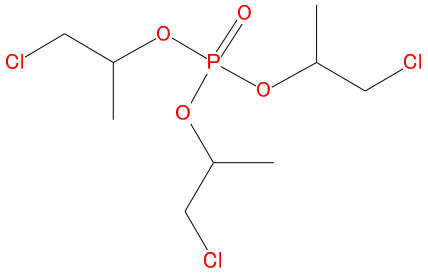
| ピーク No. | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| 推定化合物 | ジフェニルメタン | フルオレン | ベンゾフェノン | フェナントレン |
| 類似度 | 949 | 918 | 916 | 943 |
| 構造式 |  |  |  |  |

表 12　熱分解 GC-MS 分析データの解析結果（ウレタン 246℃）

| ピーク No. | 3 | 4 | 7 |
|---|---|---|---|
| 推定化合物 | 1,2-ジクロロプロパン | N,N-ジメチルシクロヘキシルアミン | りん酸トリス[1-(クロロメチル)エチル] |
| 類似度 | 930 | 878 | 890 |
| 構造式 |  |  |  |

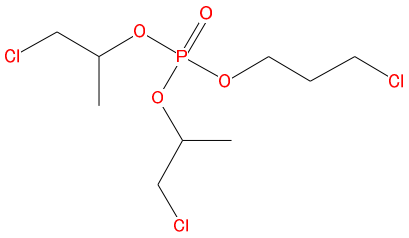
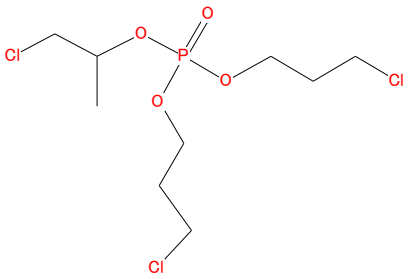
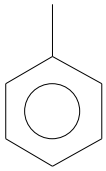
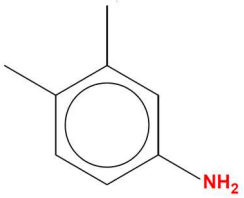
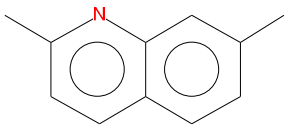
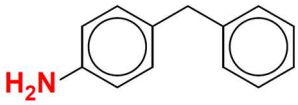
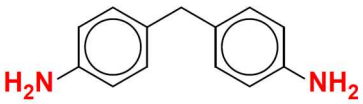
| ピーク No. | 8 | 9 |
|---|---|---|
| 推定化合物 | りん酸ビス[1-(クロロメチルエチル)](3-クロロプロピル) | りん酸ビス(3-クロロプロピル)[1-(クロロメチル)エチル] |
| 類似度 | 901 | 916 |
| 構造式 |  |  |

表 13　熱分解 GC-MS 分析データの解析結果（ウレタン 580℃）

| ピーク No. | 2 | 5 | 7 |
|---|---|---|---|
| 推定化合物 | トルエン | 3,4-ジメチルアニリン | 2,7-ジメチルキノリン |
| 類似度 | 919 | 899 | 803 |
| 構造式 |  |  |  |

| ピーク No. | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|
| 推定化合物 | 4-ベンジルアニリン | 4,4'-メチレンジアニリン | |
| 類似度 | 878 | 882 | 879 |
| 構造式 |  |  | |

（別添９）

# ３号機原子炉建屋における火災との関係

原子力規制庁原子力規制部
東京電力福島第一原子力発電所事故対策室　木原　昌二

## １．背景及び目的

３号機原子炉建屋では、2011 年 3 月 14 日の水素爆発以降、3 月 21 日の 15 時 55 分頃にやや灰色がかった煙の発生や、同月 23 日の 16 時 20 分頃に黒煙の発生など火災が確認されている。（図１～３参照）

一方、これらの火災が確認された原子炉建屋南東側などには可燃物の存在は想定されていない。



2011 年 3 月 21 日東京電力撮影

図１　３号機原子炉建屋における煙の発生（１）



2011 年 3 月 21 日東京電力撮影

図２　3 号機原子炉建屋における煙の発生（２）



2011 年 3 月 21 日東京電力撮影

図３　3 号機原子炉建屋における煙の発生（３）

## ２．現地調査の結果

3 号機原子炉建屋では、2011 年 3 月 14 日の水素爆発以降、オペフロから白煙が上っていることが何度か確認されている。（図４参照）

これらの白煙は、赤外線カメラによる温度測定や航空機写真等から原子炉ウェルの隙間等から吹き出ていることが確認されており、原子炉格納容器等から漏えいしてきた水蒸気と考えられてきた。

一方、3 月 21 日の 15 時 55 分頃のやや灰色がかった煙の発生や、同月 23 日の 16 時 20 分頃に黒煙の発生については、白煙を形成していた水蒸気とは異なり、火災による煙と考えられた。



2011 年 3 月 16 日東京電力撮影

**図４　3 号機原子炉建屋オペフロの白煙**

調査チームは、事故時に発生した水素爆発に関して、爆発が発生した状況や影響等に関してより詳細な検討を行うため、水素爆発の痕跡等を調査する 3 号機原子炉建屋内調査を実施しており、当該火災の原因となる可燃物等の情報が得られないか確認した（別添 14 参照）。

当該現地調査の結果、3 号機原子炉建屋 2 階の原子炉容器の北側の壁面に、目視では焦げ跡のように見える黒い部分が確認された[1]が、その他原子炉建屋内調査において、火災の痕跡は確認されていない。

## ３．まとめ

これまでの調査・分析では、3 号機原子炉建屋における火災に直接関係する痕跡は確認されていないが、PCV 内で可燃性有機ガスが発生しうるという知見は、これらの火災への影響が十分に考えられる。PCV 内で発生する水素及び可燃性有機ガスの挙動及び影響は、引き続き検討する必要がある。

[1] （別添 14）3 号機原子炉建屋 1 階及び 2 階の予備調査結果　参照

（別添１０）

# １号機 SGTS 室の調査結果等（遠隔調査用ローダー等）

原子力規制庁原子力規制部
東京電力福島第一原子力発電所事故対策室　竹内　淳、佐藤　匡

## １．調査目的

原子力規制庁は、事故当時 1 号機のベント配管側から自号機（1 号機）の非常用ガス処理系（SGTS）フィルタトレインへのベントガスの移行（逆流）の有無、2 号機 SGTS フィルタトレイン基部で発見された漏えい痕の確認等を行うため、昨年度に引き続き現地調査を実施した。

## ２．調査内容

調査対象である 1 号機及び 2 号機の SGTS フィルタトレイン周辺は、これまでの調査において高い線量率が確認されており、接近して測定をすることができないことから、遠隔調査用ローダーにより周辺状況の撮影及び線量率の測定を実施することとした。

2021 年度は、遠隔調査用ローダーの製作及び作動試験を含めて現地調査を実施した。

## ３．遠隔調査用ローダーの製作

遠隔調査用ローダーの移動経路となる SGTS フィルタトレイン付近には障害物となる配管等があることから、原子力規制庁において小型の遠隔調査用ローダーを製作した。（図１参照）




図１　遠隔調査用ローダー

## ４．調査結果

### （１）２号機 SGTS フィルタトレイン基部の漏えい痕の確認

東京電力ホールディングス株式会社（以下、「東電」という。）は、2020 年 8 月～2021 年 2 月にかけて実施した調査において 2 号機 SGTS フィルタトレイン（B 系）下流側の南側通路上に漏えい痕を確認した（図２参照[1]）。




**図２　２号機 SGTS フィルタトレイン付近の漏えい痕**

当該漏えい痕が 2 号機 SGTS フィルタトレインから漏えいしたものであった場合、1 号機から逆流したベントガス中の水蒸気が 2 号機 SGTS フィルタトレイン内に溜まり水として残存している可能性が考えられることから、漏えい箇所等を確認するために遠隔調査用ローダーを用いて 2021 年 6 月 25 日、7 月 29 日及び 8 月 6 日に調査を実施した。

調査では、はじめに 2 号機 SGTS フィルタトレイン（B 系）の南側から接近して漏えい痕を確認した後、漏えい箇所の有無等について確認を行ったが、フィルタトレイン下面には漏えいした形跡は確認できなかった。その一方で、漏えい痕のあった箇所のフィルタトレイン奥側（北側）にドレン配管のようなものが確認された。

---

[1] 第 21 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会資料 5-1 P.26 より抜粋

そのため、次の調査では北側から接近して 2 号機 SGTS フィルタトレイン（B 系）の北側通路（A 系との間の通路）及び SGTS フィルタトレイン（A 系）の北側通路を確認した。その結果、前回確認した配管はフィルタトレインとは別の配管であること、またその付近にも漏えい痕が見つかったことに加えて、フィルタトレインのドレン配管は別の箇所にあることを確認した。これらの確認結果及び線量率測定結果を図３、また参考までに東電がこれまでに実施した線量率測定結果を参考１及び２に示す。

これらの確認結果から、今回確認した漏えい痕はフィルタトレインからの漏えいではない可能性が高いと考える。しかしながら、東電の調査により 3 号機フィルタトレイン（B 系）や 4 号機フィルタトレイン（A 系）では溜まり水を確認しており、1 号機及び 2 号機のフィルタトレイン内にも溜まり水が残存している可能性は否定できないことから、溜まり水の有無に関しては引き続き調査を実施して確認していく必要がある。

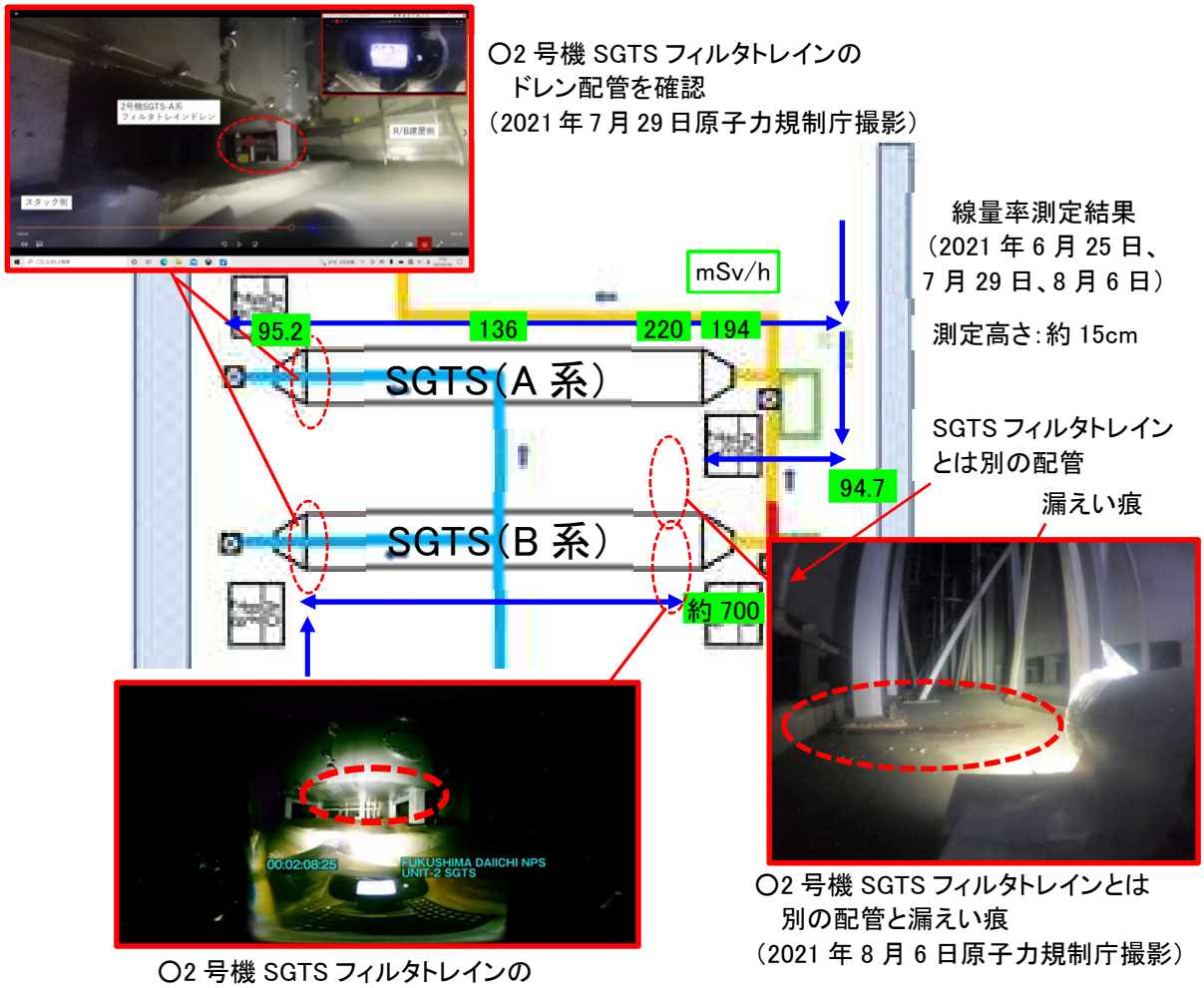
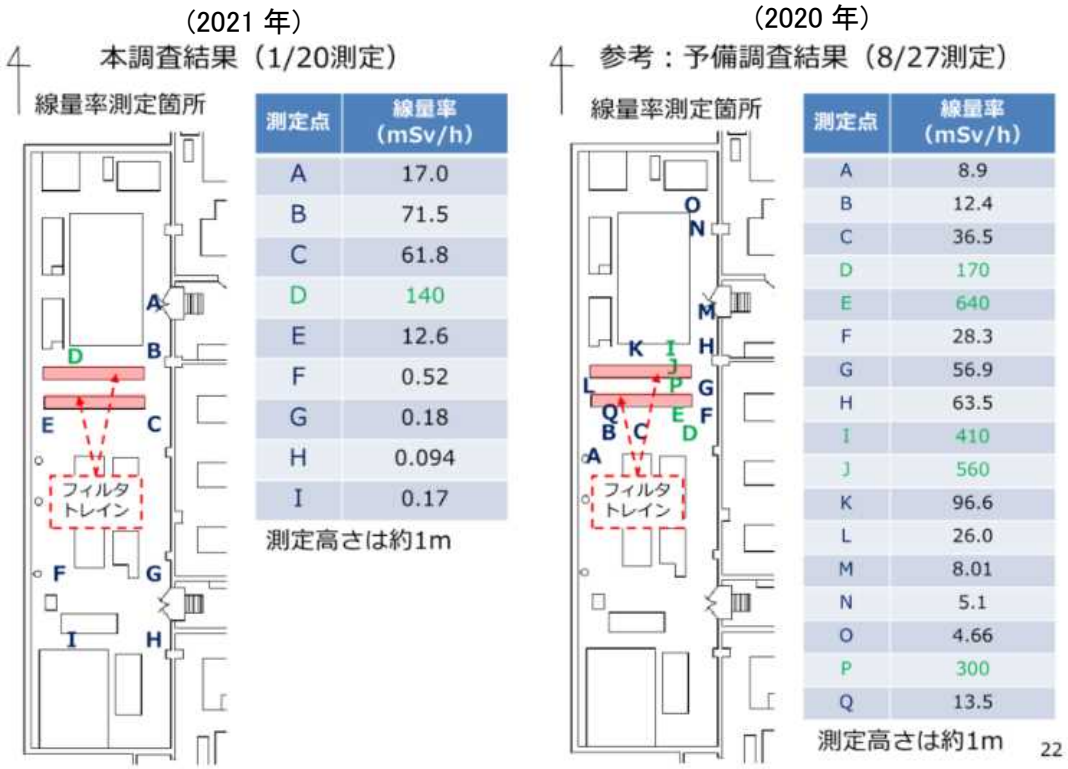


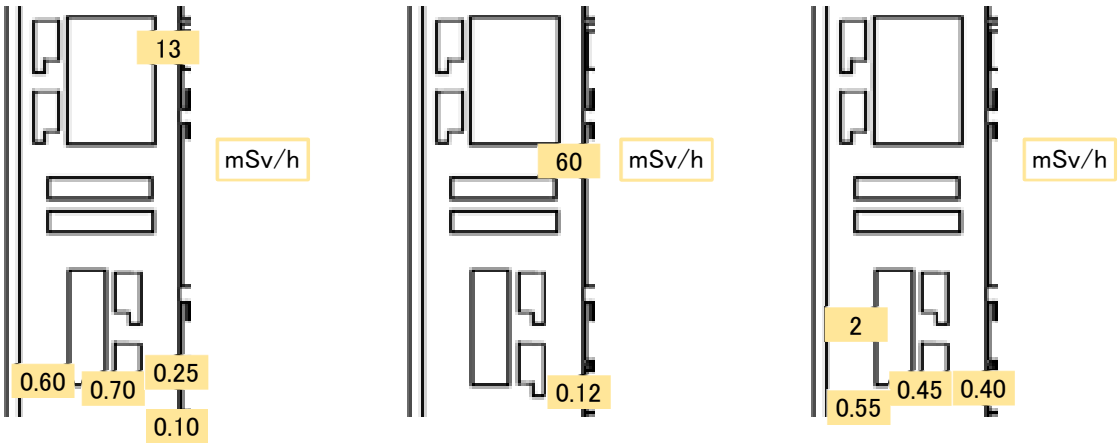

図３　2 号機 SGTS フィルタトレイン付近の調査結果

（参考１）東電が 2020 年 8 月～2021 年 2 月にかけて実施した 1-4 号機 SGTS 室調査による 2 号機 SGTS フィルタトレイン付近の線量率測定結果[2]




（参考２）東電 HP 公表資料「建屋内の空間線量率について」を一部加工

https://www.tepco.co.jp/decommission/data/surveymap/archive/unit2-j.html

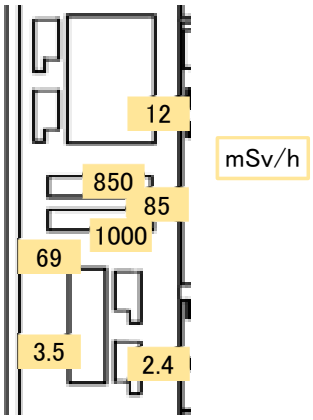


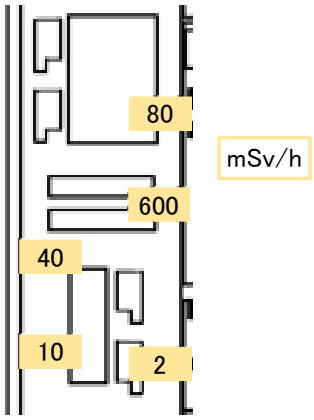

2021 年 8 月 27 日付け資料
（データ採取期間：
2020/4/1～2021/3/31

2020 年 4 月 3 日付け資料
（データ採取期間：
2019/1/1～2019/12/31

2016 年 4 月 28 日付け資料
（データ採取期間：
2016/2/1～2016/2/29

[2] 第 21 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会資料 5-1「1-4 号機 SGTS 室調査の結果について」P. 22 より抜粋、一部加筆（https://www.nsr.go.jp/data/000358692.pdf）




2015 年 5 月 8 日付け資料
（データ採取期間：
2014/2/20～2015/3/31

2013 年 3 月 22 日付け資料
（データ採取期間：
2011/4～2013/2

## （２）１号機 SGTS フィルタトレインの汚染状況調査

１号機フィルタトレインは、これまでの各種調査により一部周辺の線量率等が測定されているが、特にフィルタトレイン出口部（スタック側）の線量率については測定ができていない。そのため、現状確認されている線量率の関係だけでは１号機のベント配管側（フィルタトレインの出口側）からフィルタトレインへの逆流があったと判断することができない状況にある。

これらの状況を踏まえ、新たに製作した遠隔調査用ローダーによりフィルタトレイン全体、特にフィルタトレイン出口部の線量率測定実施の可否等を確認するため 2021 年 12 月 16 日及び 2022 年 1 月 12 日に予備調査を実施した。

①新たな経路の確認

これまで東電による線量率の測定は、フィルタトレイン室の東側通路を中心に実施されているが、現時点においてその経路ではフィルタトレイン出口側（西側）まで到達できていない。そのため、フィルタトレイン室の西側にある通路を使用してフィルタトレインまで接近することができるか確認を行った。その結果、フィルタトレイン手前には低い位置までケーブルトレイ等が設置されており、この通路からフィルタトレインへ到達することは困難であることを確認した。本予備調査で確認した周辺状況及び測定した線量率については、図４にまとめて示す。

②東側通路からの線量率測定

東側通路からフィルタトレインまで到達するためには、フィルタトレイン手間にあるスロープを越えていく必要がある。今回の予備調査では、そのスロープの手前までの通路にて遠隔調査用ローダーの試験走行等を実施した。これらの確認結果及び線量

率測定結果を図４、また参考までに東電がこれまでに実施した線量率測定結果を参考３及び４に示す。（図４参照）

その結果、スロープ付近から急激に放射線量が高くなり、それに伴ってカメラ映像に強い変色等が発生すること、スロープ自体を超えていく場合には遠隔調査用ローダーの安定性の向上を図る必要があること等の課題があることを確認した。そのため、今後はカメラの仕様変更等を含めて遠隔調査用ローダーの改造等により課題を改善した上で、フィルタトレインの線量率測定の実施に向けて引き続き取り組んでいく必要がある。

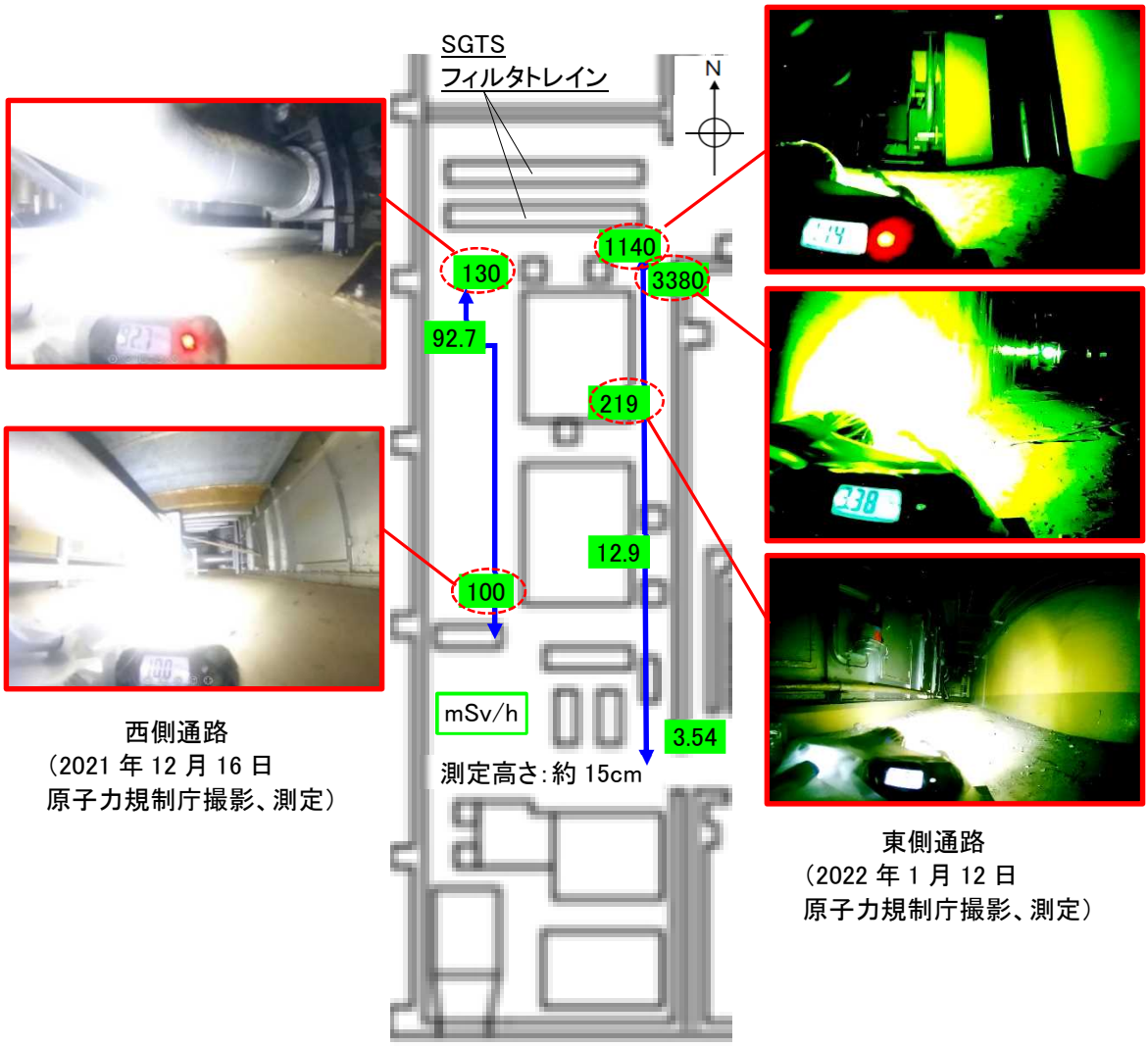
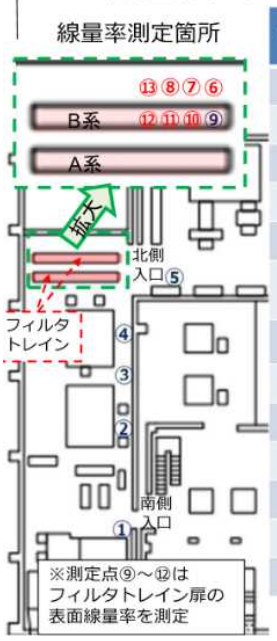



図４　１号機 SGTS フィルタトレイン付近の調査結果

（参考３）東電が 2020 年 8 月～2021 年 2 月にかけて実施した 1-4 号機 SGTS 室調査による 1 号機 SGTS フィルタトレイン付近の線量率測定結果[3]

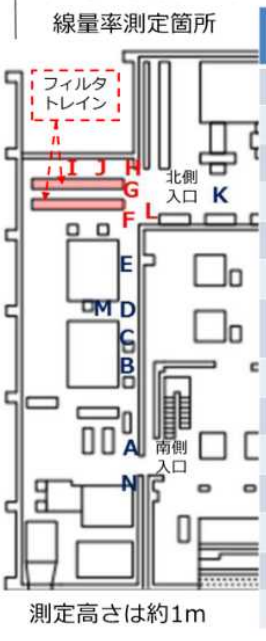
（2020 年）
本調査結果（12/15測定）




| 測定点 | 線量率（mSv/h） |
|---|---|
| ① | 5.57 |
| ② | 16.7 |
| ③ | 120 |
| ④ | 280 |
| ⑤ | 84.1 |
| ⑥ | 1330<br>2270（床面） |
| ⑦ | 1420 |
| ⑧ | 1510 |
| ⑨※ | 880 |
| ⑩※ | 1020 |
| ⑪※ | 1180 |
| ⑫※ | 1470 |
| ⑬ | 1580 |

測定高さは約1m

（2020 年）
参考：予備調査結果（8/25測定）

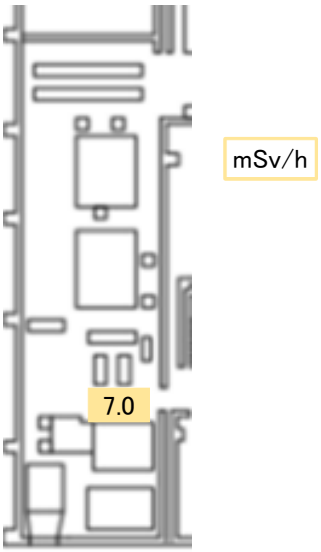



| 測定点 | 線量率（mSv/h） |
|---|---|
| A | 5.1 |
| B | 16.6 |
| C | 110 |
| D | 150 |
| E | 310 |
| F | 1050 |
| G | 2050<br>3050（床面） |
| H | 1270 |
| I | 1620 |
| J | 1040 |
| K | 50 |
| L | 1060 |
| M | 160 |
| N | 6.76 |

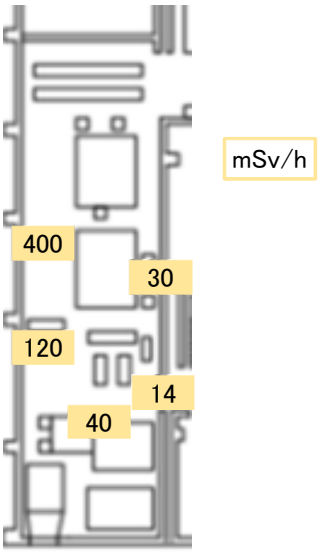
測定高さは約1m

（参考４）東電 HP 公表資料「建屋内の空間線量率について」を一部加工

https://www.tepco.co.jp/decommission/data/surveymap/archive/unit1-j.html




2021 年 8 月 27 日付け資料
（データ採取期間：
2020/4/1～2021/3/31）




2015 年 5 月 8 日付け資料
（データ採取期間：
2014/2/21～2015/3/31）

[3] 第 21 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会資料 5-1「1-4 号機 SGTS 室調査の結果について」P.19 より抜粋、一部加筆（https://www.nsr.go.jp/data/000358692.pdf）

## ４．まとめ

上記の調査結果から、遠隔調査用ローダーによる調査の有用性を確認することができたが、それと同時に解決すべき課題も明らかになった。また、今回確認できなかった以下の点については、引き続き実施可能な調査方法等を検討し、調査を継続していく必要がある。

（1 号機フィルタトレイン関係）

・フィルタトレイン全体、特に出口側（西側）の線量率

・フィルタトレイン内部の溜まり水の有無

（2 号機フィルタトレイン関係）

・フィルタトレイン内部の溜まり水の有無

（別添１１）

# 1/2 号機 SGTS 配管の切断による配管内の汚染分布の測定

原子力規制庁原子力規制部
東京電力福島第一原子力発電所事故対策室　木原　昌二

## １．背景及び目的

1/2 号機の非常用ガス処理系（SGTS）配管については、中間取りまとめ（2021 年版）において、高い線量率が測定されているが、東京電力による 1/2 号機廃棄物処理建屋の雨水対策工事及び 1 号機原子炉建屋大型カバー設置工事等の廃炉作業と干渉する範囲があるため、1 号機及び 2 号機原子炉建屋の屋外に敷設されている配管の一部を撤去する作業（以下、「SGTS 配管撤去作業」という。）が実施されている。

SGTS 配管撤去作業では、SGTS 配管を切断し、クレーンによる吊り降ろし後、4 号機カバー建屋内 1 階に輸送し、1.5m 程度に細断する。細断された配管は養生してコンテナに収納し、固体廃棄物貯蔵庫に輸送、保管される。

当該 SGTS 配管は、東京電力福島第一原子力発電所事故当時、原子炉格納容器ベントの実施によって、配管内部にベントガスが流れていることから、SGTS 配管内部の汚染状況・汚染分布を調査・分析することで事故時の放射性物質の移行等に係る重要な情報が得られるものと考えられる。

そのため、調査チーム及び東京電力は、当該 SGTS 配管の撤去作業にあわせて、切断された SGTS 配管の調査・分析を実施することとした。

SGTS 配管撤去作業は、2021 年 7 月から開始されたが、作業に使用するクレーンの故障、配管切断装置の不具合等により作業が遅延し、2022 年 5 月に 2 号機 SGTS 配管の 1 本目の切断、サンプル採取等が実施された[1]。しかし、その後も同年 6 月には 2 号機 SGTS 配管の 2 本目の切断作業中に切断装置のワイヤーソーの配管への噛み込み事象等が発生した。このため、同年 7 月に周辺工事と工程を組み替え、配管切断装置の改造等を行うこととし、SGTS 配管撤去作業の遅延が生じている。

## ２．調査の概要

調査チーム及び東京電力は、2022 年 5 月 24 日に切断された 1 本目の 2 号機

[1] 事故分析検討会　第 30 回会合　資料 2　福島第一原子力発電所 1 号機及び 2 号機非常用ガス処理系配管の一部撤去について、2022 年 6 月 30 日　東京電力ホールディングス株式会社　参照

SGTS 配管について、以下の調査等を実施した。

①ガンマカメラ測定

複数の種類のガンマカメラを用いて SGTS 配管の汚染状態を測定。

②配管内部確認及びスミヤ採取

ガンマカメラで高汚染が確認された箇所等の SGTS 配管内部の映像取得及びスミヤ採取。

③配管サンプル採取

ガンマカメラで高汚染が確認された箇所等の SGTS 配管部位のサンプル採取。

④スミヤ／配管サンプル分析

採取したスミヤ及び配管サンプルの分析。

具体的な調査内容については、引用文献等の東京電力資料[2]に記載されている。

SGTS 配管撤去作業の進捗に応じて、2 本目以降の切断配管についても上記の調査等を実施予定である。

## ３．調査の結果

①ガンマカメラによる測定は、配管から 8m の位置（配管全体の測定）及び配管から 4m の位置（配管の詳細範囲）で東京電力が実施した。ガンマカメラは、性能比較も行えるように東京電力所有のコーデットマスク型ガンマカメラ[3]及びコンプトン型ガンマカメラ[4]並びに原子力規制庁所有のピンホール型ガンマカメラ[5]の 3 台を使用した。

東京電力所有のコーデットマスク型ガンマカメラ及びコンプトンガンマカメラの測定結果は、図１及び図２に示した。

原子力規制庁所有のピンホール型ガンマカメラによる測定結果は、図３に示した。ただし、測定時の設定に誤りがあり、全エネルギー吸収モードでの測定となっており測定された核種が判別不能で、正しく測定されていないことが確認された。

SGTS 配管（口径約 35cm）の測定については、コーデットマスク型ガンマカメラ及びピンホール型ガンマカメラにより配管の汚染分布が把握可能と考えられる。

---

2 事故分析検討会　第 28 回会合　資料 4-4　福島第一原子力発電所 1 号機及び 2 号機非常用ガス処理系配管の一部撤去について、2022 年 2 月 28 日　東京電力ホールディングス株式会社　参照

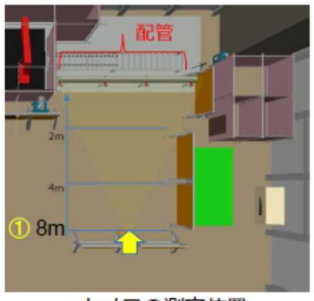
3 コーデットマスク型ガンマカメラ：Mirion Technologies 社製　iPIX

4 コンプトン型ガンマカメラ：㈱千代田テクノル社製　ガンマ・キャッチャー

5 ピンホール型ガンマカメラ：日立製　HDG-E1500

<参考>γカメラ測定結果（8m位置）　測定日：2022/5/24　TEPCO

- 当社γカメラ（コーデットマスク）の測定結果より、線量が高い線源は配管中央にあると推測する。
- 当社γカメラ（コンプトン）は空間線量当量率が0.5mSv/hと高い環境では、検出部が周辺の線量の影響を受けてしまい、線源の位置にイメージングすることが出来なかった。



γカメラの測定位置及び測定方向

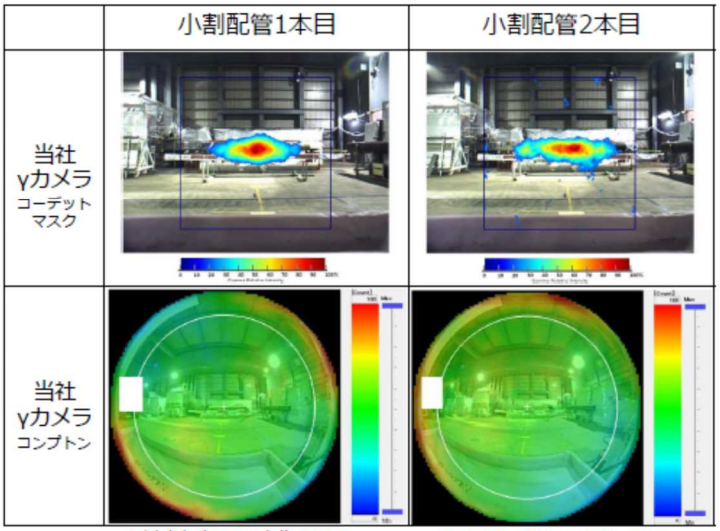
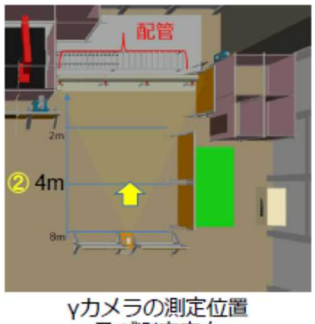


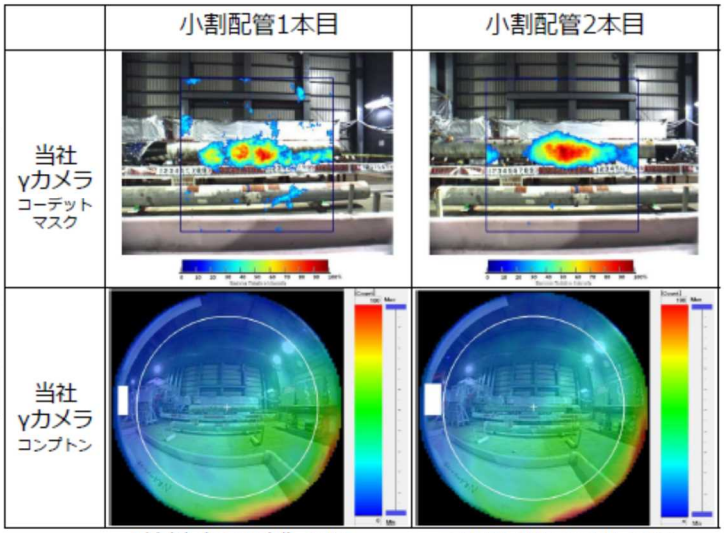

図１　ガンマカメラ測定結果（8m 位置）（東京電力ガンマカメラの例）

<参考>γカメラ測定結果（4m位置）　測定日：2022/5/24　TEPCO

- 当社γカメラ（コーデットマスク）の測定結果より、線量が高い線源は配管下部に付着していると推測する。
- 当社γカメラ（コンプトン）は高線量による数え落としが起こり、放射線分布が正しく表示されなかった。高線量の試料を測定するには線源から距離を離す、もしくは検出部をコリメートする必要がある。

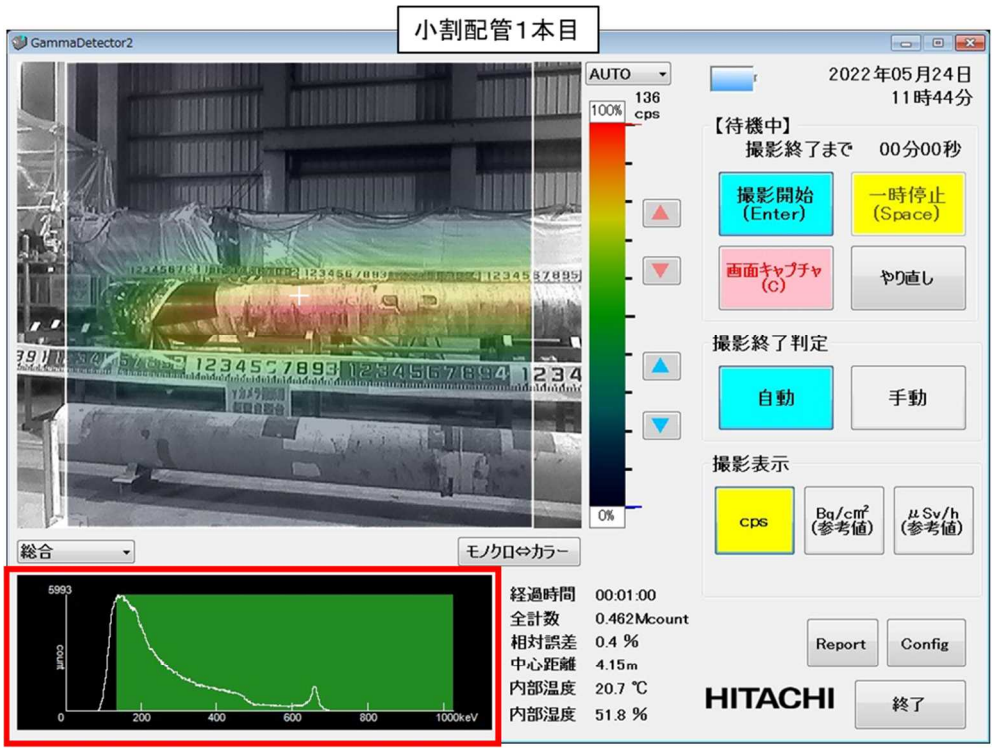


γカメラの測定位置及び測定方向




6

図２　ガンマカメラ測定結果（4m 位置）（東京電力ガンマカメラの例）




- 2022年5月24日、東京電力が原子力規制庁所有のγカメラを用いて測定した結果。
- 測定時の設定に誤り（全エネルギー吸収モードのまま）があり、正しく測定されていない。

図３　ガンマカメラ測定結果（原子力規制庁ガンマカメラの例）

なお、切断された SGTS 配管から 10cm 位置での 1cm 線量当量率は、17mSv/h～27mSv/h であり、ガンマカメラの測定位置となる 4m 位置での 1cm 線量当量率は、1.1mSv/h～1.2mSv/h、同様に 8m 位置での 1cm 線量当量率は、0.50mSv/h であった。

SGTS 配管の細断前には、東京電力が、電離箱サーベイメータによる配管内外の 1cm 及び 70μm 線量当量率の測定も合わせて行っている。測定結果は下記のとおり。

電離箱サーベイメータ[6]による線量率測定結果（2022 年 5 月 23 日測定）

【配管上流側（2 号機側）】

・配管内側　γ：100mSv/h、γ＋β：3000mSv/h（切断面から、配管内側へ測定器を向け測定）

・配管外側　γ：60mSv/h、γ＋β：60mSv/h

【配管下流側（排気筒側）】

・配管内側　γ：65mSv/h、γ＋β：120mSv/h（ウレタンが充填された切断面を測定）

・配管外側　γ：60mSv/h、γ＋β：60mSv/h

γ：1cm 線量当量率、γ＋β：70μm 線量当量率

②配管内部確認及びスミヤ採取は、2022 年 5 月 24 日に東京電力がガンマカメラによる測定で高汚染が確認された部分で且つ、発泡ウレタン材が注入されていない部位の内部確認（映像取得）及びスミヤ採取を実施した。

スミヤ採取については、スミヤ採取棒を使用し、衝立て遮へいを利用しながら、配管内面の上面（0°方向）、下面（180°方向）、側面（90°もしくは 270°方向）の 3 箇所のスミヤが採取されている。

③配管サンプル採取は、2022 年 5 月 24 日に東京電力がガンマカメラによる測定で高汚染が確認された部分で且つ、発泡ウレタン材が注入されていない部位のサンプルを採取し、保管されている。

東京電力によれば、採取した配管サンプルは、5cm 程度の幅で配管を細断した輪切り状態のもの[7]であり、採取した位置情報や、配管の上下、出入口方向を記録・記載するように作業するとともに、コンクリート製の収納容器に養生した状態で保管された。

東京電力による配管内部確認及びスミヤ採取並びに配管サンプル採取の具体的な調査結果については、引用文献等の東京電力資料[8]に記載されている。

---

6 電離箱サーベイメータ（高線量）F1-ICWBH-031　キャップを付けた状態で 1cm 線量当量率を測定し、70μm 線量当量率はキャップを外して測定

7 切断された配管全体（全長約 11.6m）のうちの原子炉建屋側から約 6.4m 付近を切り出した幅約 5cm、口径約 35cm のもの

8 事故分析検討会　第 30 回会合　資料 2　福島第一原子力発電所 1 号機及び 2 号機非常用ガス処理系配管の一部撤去について、2022 年 6 月 30 日　東京電力ホールディングス株式会社　参照

調査チームは、当該配管サンプルの線量率測定を 2022 年 6 月 8 日に実施した。

当該配管サンプルの保管状態は図４のとおりであり、収納容器内での位置固定がなされておらず、養生された状態では、配管の上下が明確ではない状態が確認された。




**図４　配管サンプルの保管状況**

線量率測定は、調査チームが電離箱式サーベイメータ[9]を用いて、3mm 線量当量測定のフィルタ（H3 フィルタ）及び 1cm 線量当量測定のフィルタ（H10 フィルタ）を使用するとともにフィルタなしで測定を行っている。

これらの測定したデータを東京電力によるサンプルの向き情報とあわせて整理した（図５参照）。

9 株式会社応用技研　電離箱式サーベイメータ　AE-133BH

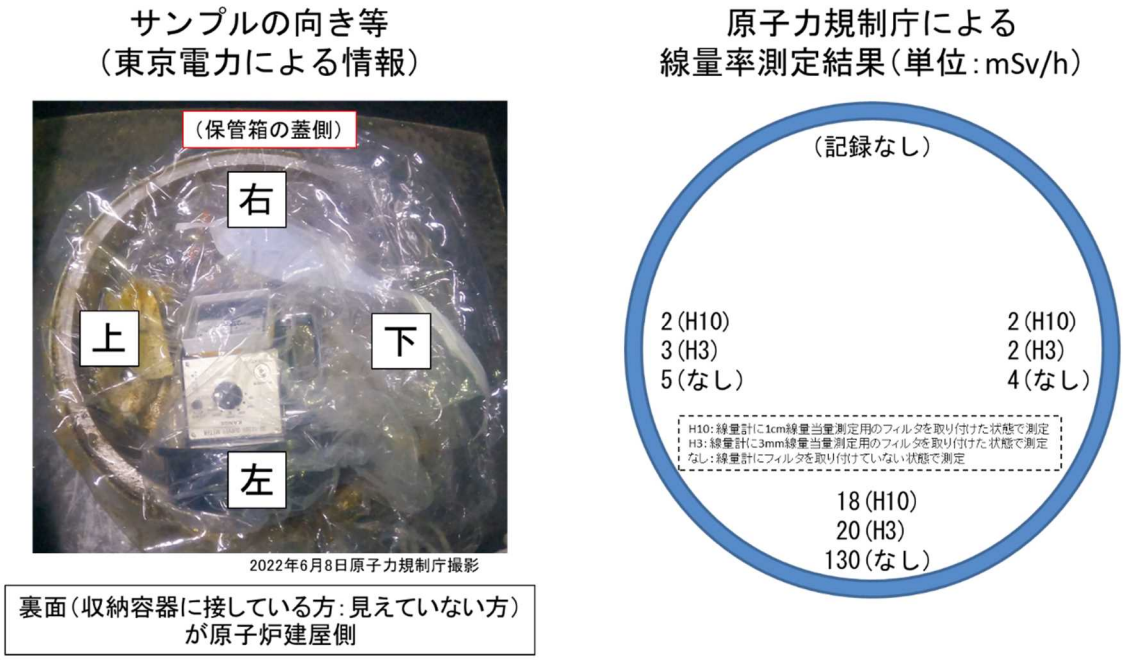



図５　原子力規制庁における線量率測定

測定の結果、配管内の位置によって測定値に傾向が見られたが、当該配管サンプルの保管状態から、収納容器内での配管サンプルの移動等の可能性が示唆されており、確認された測定値の傾向が配管内における放射性物質の付着等の傾向を示しているのか、更なる検討が必要である。

また、切断された配管内には、水分を含んでいると思われる付着物・堆積物が確認されており、配管内は水分に富んだ環境の時期があったことが推定される。

④スミヤ／配管サンプルの分析は、今後、東京電力において実施予定である。

## ４．まとめ

東京電力における SGTS 配管撤去作業では、2 号機の SGTS 配管の 1 本目の切断、撤去が行われた。当該切断作業にあわせて、切断した SGTS 配管内部の汚染状況・汚染分布について調査・分析を進めているが、ガンマカメラによる測定時の設定誤りやスミヤ試料の拭き取り箇所の位置及び収納容器に収納・保管した場合の配管の上下左右等の位置・方向情報が十分に記録されていないなど、測定方法、サンプル採取時の記録、サンプル採取後の保管方法等に改善点が確認された。

本件を踏まえて、東京電力では、スミヤ／配管サンプル採取時の位置・方向情報等の記録等について、方向の目印を直接マーキングするなどの対策を検討している。

## 引用文献等


１）東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（第 30 回会合）資料 2　福島第一原子力発電所 1 号機及び 2 号機非常用ガス処理系配管の一部撤去について、2022 年 6 月 30 日　東京電力ホールディングス株式会社
https://www.nra.go.jp/data/000395864.pdf

２）東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（第 28 回会合）資料 4-4　福島第一原子力発電所 1 号機及び 2 号機非常用ガス処理系配管の一部撤去について、2022 年 2 月 28 日　東京電力ホールディングス株式会社
https://www.nra.go.jp/data/000382273.pdf

３）東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（第 23 回会合）資料 5-3　福島第一原子力発電所 1 号機及び 2 号機非常用ガス処理系配管の一部撤去について、2021 年 10 月 19 日　東京電力ホールディングス株式会社
https://www.nra.go.jp/data/000367852.pdf

４）東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（第 22 回会合）資料 5-2　福島第一原子力発電所 1 号機及び 2 号機非常用ガス処理系配管の一部撤去について、2021 年 9 月 14 日　東京電力ホールディングス株式会社
https://www.nra.go.jp/data/000364993.pdf

（別添１２）

# モニタリングポスト等で測定された空間線量率データ等の整理

原子力規制庁原子力規制部
東京電力福島第一原子力発電所事故対策室　木原　昌二

## １．背景及び目的

東京電力福島第一原子力発電所及び東京電力福島第二原子力発電所では、発電所敷地周辺の市町村において、環境放射能監視テレメータシステム（原子力発電所周辺に設置したモニタリングポストの測定データを専用回線で収集し、常時監視するシステム）を用いて原子力発電所からの影響が監視されていた。しかし、2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の影響を受け、通信回線の断線、電源喪失、津波によるモニタリングポスト流失等が生じたことにより、震災当初、福島県ではテレメータシステムによるデータ収集が出来なくなった。福島第一では、震災の影響でテレメータシステムによる空間線量率の監視やモニタリングポストからのデータ回収が出来なかったものもあるが、福島県から、回収、確認された各モニタリングポストに残存している測定データが震災後に公表されている[1]。

また、東京電力福島第一原子力発電所の敷地内においては、発電所敷地境界付近のモニタリングポスト及びモニタリングカーによって、一部ではあるが、空間線量率、風向、風速等が測定されている。さらに、原子炉施設に設置されていたプロセスモニタ及びエリアモニタ等においても放射線データが一部記録されているものが確認されている。

これらの測定データには、いくつかの空間線量率のピークがあり、福島第一原子力発電所からの放射性物質の放出・漏えいを示しているものと考えられる。

調査チームでは、福島県の協力を得て、福島県の環境放射能監視用モニタリングポストの現地調査の他、測定データに係る情報の確認や事故当時に採取された試料の確認を行っている。

これらの測定データには､2011 年 3 月 11 日から同月 31 日までの期間において、いくつかの空間線量率の推移が記録されているものがあり、今後、各測定点における空間線量率の推移を分析する。特に、バックグラウンドの低い 3 月 12 日前後のデータと 1 号機の事象進展との比較及び空間線量率の高いピークのある 3 月 15, 20, 24 日等のデータの比較を行うため、表 1 の測定データの整理を行っている。

---

[1] 福島県、“平成 23 年 3 月 11 日～3 月 21 日（東日本大震災発生以降）にモニタリングポストで測定された空間線量率等の測定結果について”、https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025d/post-oshirase.html

今後、整理した測定データの分析及び確認を進めているその他データの整理、分析を進める予定としている。

表１　モニタリングポスト等のデータ整理の状況（2022 年 12 月現在）

| 収集データ等 | | 2011年<br>3月12日 | 2011年<br>3月12日～16日 | 2011年<br>3月16日～31日 | 備　考 |
|---|---|---|---|---|---|
| １Ｆ敷地外 | 福島県モニタリングポストの空間線量率データ | 第31回事故分析検討会 | グラフ化を予定 | グラフ化を予定 | 引用文献等<br>1)、2)参照 |
| | 福島県モニタリングポストのスペクトルデータ（波高分布データ） | 整理中 | 整理中 | 整理中 | 引用文献等<br>2)参照 |
| | 浮遊塵サンプル | 整理中 | 整理中 | 整理中 | |
| | 東京電力福島第二原子力発電所敷地境界モニタリングポストの空間線量率データ | グラフ化を予定 | グラフ化を予定 | グラフ化を予定 | 引用文献等<br>5)参照 |
| １Ｆ敷地内 | モニタリングカーの空間線量率データ | 第31回事故分析検討会 | グラフ化を予定 | グラフ化を予定 | 引用文献等<br>3)参照 |
| | プロセスモニタ等の線量率データ | 第31回事故分析検討会 | 整理中 | 整理中 | 引用文献等<br>4)参照 |
| | プラントパラメータ<br>1号機～3号機の原子炉圧力値及び格納容器圧力値 | グラフ化を予定 | グラフ化を予定 | グラフ化を予定 | 引用文献等<br>4)参照 |

## ２．収集データ等

### （１）平成 23 年３月 11 日～３月 31 日（東日本大震災発生以降）にモニタリングポストで測定された空間線量率等の測定結果

福島県がモニタリングポストの各局舎から回収した空間線量率データは、表２のとおりであり、2011 年 3 月 11 日から 31 日までの期間の測定データが残っていたのは、停電せずに 3 月末まで稼働していた 5 局[2]のみであった。図１に東京電力福島第一原子力発電所と各局の位置関係の概要を示す。

また、非常用電源により 3 月 11 日から 3 月 13 日～3 月 15 日まで稼働していた局は 14 局[3]あり、上記の 5 局とあわせた 19 局の測定データを対象にデータの整理を行った。

2 浪江局、山田局、松館局、山田岡局、二ツ沼局の 5 局

3 繁岡局、波倉局、上郡山局、下郡山局、富岡局、夜の森局、向畑局、南台局、大野局、夫沢局、郡山局、新山局、上羽鳥局、幾世橋局の 14 局

調査チームは、このうち 17 局について、高エネルギー加速器研究機構　放射線科学センターが作成、公表している空気吸収線量率のデータ[4]をもとに整理した。図２に東京電力福島第一原子力発電所と 17 局の位置関係の概要を示す。

表２　福島県の各局舎から回収した空間線量率データの状況[5]

| 市町村 | 局数※1 | 回収したデータのある局数 | | | 公表された空間線量率の最大値（μGy/h ≒μSv/h） |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 3月11日のみ | 3月13日から15日まで※2 | 3月11日から31日まで※3 | |
| 広野 | 1 | 0 | 0 | 1 | 54.6 |
| 楢葉町 | 4 | 0 | 2 | 2 | 146 |
| 富岡町 | 4 | 0 | 4 | 0 | 186 |
| 大熊町 | 3 | 0 | 3 | 0 | 390 |
| 双葉町 | 4 | 0 | 3 | 1 | 1,590 |
| 浪江町 | 2 | 0 | 1 | 1 | 134 |
| 南相馬市 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0.04 |
| 計 | 19 | 1 | 13 | 5 | |

※１ 既に公表した大野局（原子力センター）及び津波で流失した５局を除く１９局。

※２ １３局は非常用電源により３月１３日～３月１５日まで稼働。

※３ ５局は停電せず３月末まで稼働。

4 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構　放射線科学センター・アーカイブス、
►2011 年 3 月の福島県モニタリングポストでの放射線情報, KEK Internal 2020-08
https://rcwww.kek.jp/research/archives.html

5 福島県、“平成 23 年 3 月 11 日～3 月 31 日（東日本大震災発生以降）にモニタリングポストで測定された空間線量率等の測定結果について”、2014 年 3 月 29 日更新
https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025d/post-oshirase.html




図１　3 月 11 日から 31 日までの期間に稼働していたモニタリングポスト局（5 局）

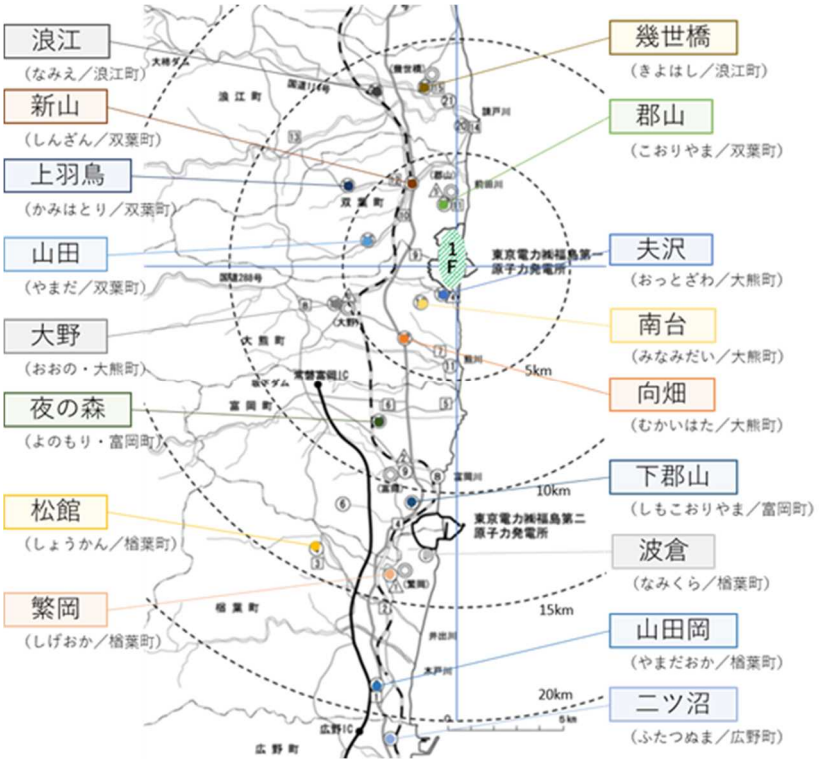



図２　測定データとして整理したモニタリングポスト局（17 局）

### （２）東京電力福島第一原子力発電所敷地内の空間線量率データ等（モニタリングカー及び仮設モニタリングポスト）

東京電力福島第一原子力発電所敷地内の空間線量率については、発電所敷地境界周辺にモニタリングポストが設置されていたが、東日本大震災による電源喪失により、空間線量率の測定に係る機能を失ったため、モニタリングカー及び仮設モニタリングポストによる空間線量率等の測定が行われた[6]。

2011 年 3 月 11 日から 3 月 31 日までの期間において、発電所敷地内の空間線量率等の測定が行われた地点は、大きく下記のモニタリングポスト（MP-1～8）、正門、西門及び事務本館北等の付近において行われている。（図３参照）




図３　東京電力福島第一原子力発電所敷地内のモニタリングポスト等の概要

6 東京電力ホールディングス株式会社、福島第一原子力発電所構内での計測データ｜アーカイブ、
▶2011 年 3 月 11 日から 21 日までのモニタリングデータ
https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/indexold-j.html
▶3 月分アーカイブ
https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/data/2011/index-j.html

### （3）東京電力福島第一原子力発電所敷地内の空間線量率データ等（プロセスモニタ等）

東京電力福島第一原子力発電所敷地内の空間線量率の測定については、（2）の放射線管理施設の他、プロセスモニタリング施設及びエリアモニタリング施設等の放射線管理用計測装置がある。

調査チームが、発電所敷地内の放射線管理用計測装置の記録を確認[7]したところ 6 号機非常用ガス処理系排ガス放射線モニタ（プロセスモニタ）及び 5 号機主排気筒放射線モニタ（プロセスモニタ）において、空間線量率のデータが確認された。また、3 号機の非常用ガス処理系排ガス放射線モニタ及び主排気筒放射線モニタにおいても空間線量率の一部データが残っていることを確認した。

これらの放射線モニタは、本来、非常用ガス処理系及び主排気筒から排ガスを放出する際に配管系統内の放射線管理用に設置されたプロセスモニタであり、放射線モニタの周辺の空間線量率を記録するものではない。

しかし、これらの放射線モニタは、当時の放射性物質の放出源と考えられる 1 号機原子炉建屋に対して、発電所敷地境界付近のモニタリングポスト等よりも距離的に近く、5，6 号機は北側に、3 号機は南側に位置する配置となっている。（図 4～7 参照）

そのため、記録された空間線量率のデータ等の数値そのものよりも、数値が上昇する時期や上昇傾向などを他の空間線量率データと比較検討するために利用できるものと考えられる。

7 東京電力ホールディングス株式会社、東北地方太平洋沖地震発生当時の福島第一原子力発電所プラントデータ集、https://www.tepco.co.jp/decommission/data/past_data/accident_plantdata/index-j.html

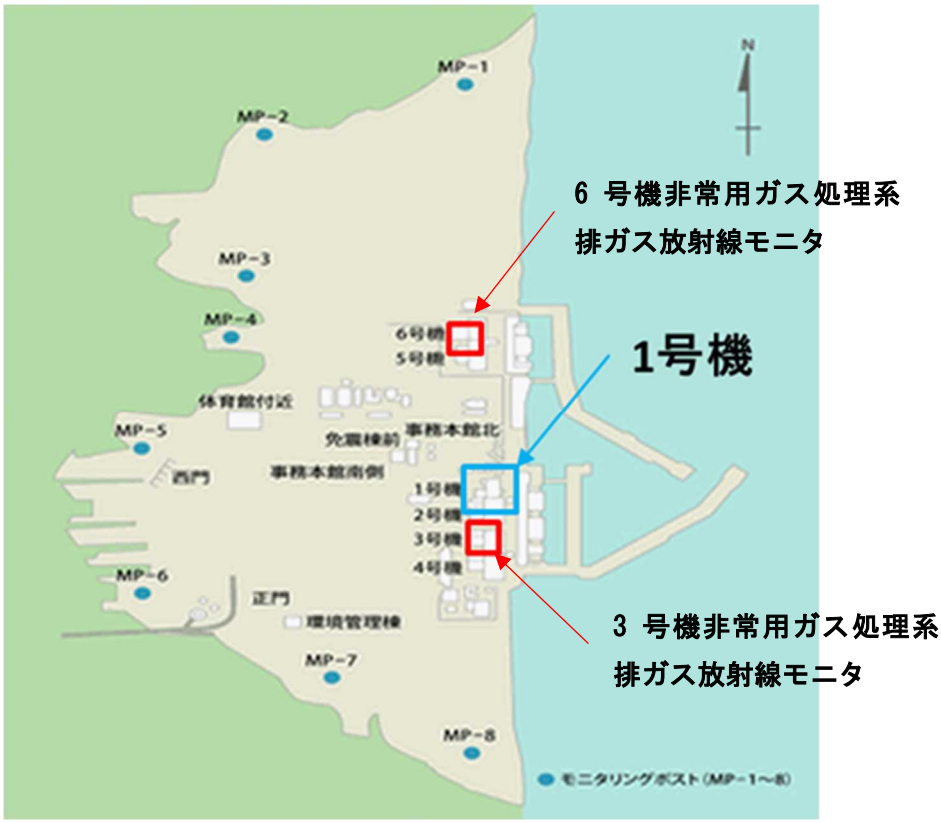



図４　6 号機非常用ガス処理系排ガス放射線モニタ等の位置関係



2020 年 7 月 31 日原子力規制庁撮影

図５　6 号機非常用ガス処理系排ガス放射線モニタの外観

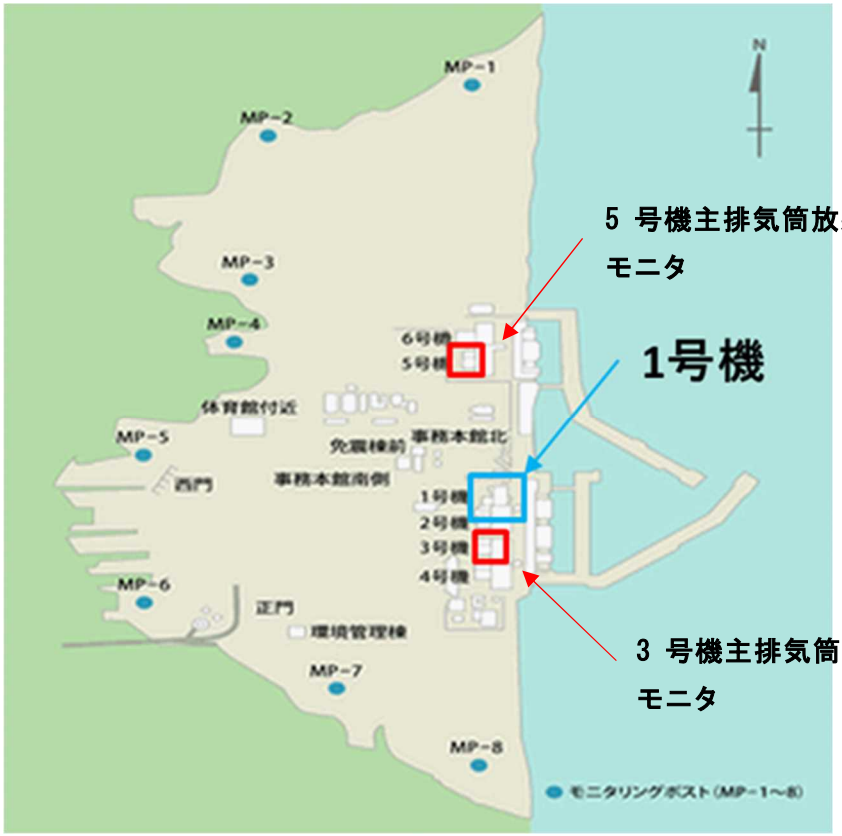



図６　5 号機主排気筒放射線モニタ等の位置関係

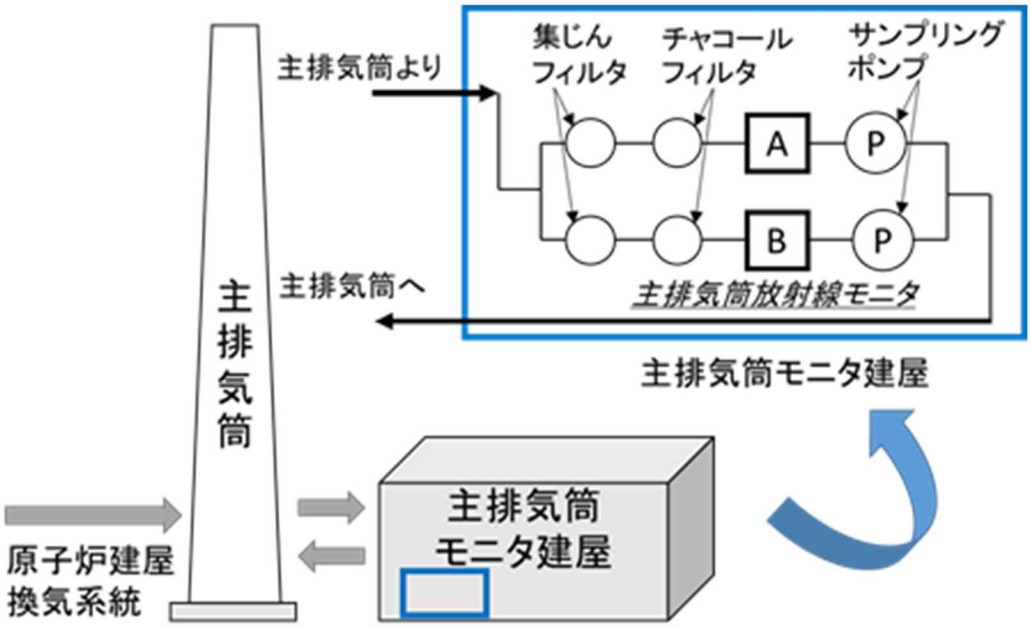



図７　5 号機主排気筒放射線モニタの概要

### （4）プラントパラメータ等

東京電力福島第一原子力発電所の敷地内外で確認される空間線量率の上昇については、東京電力福島第一原子力発電所事故における事象進展と比較検討するため、1 号機、2 号機及び 3 号機の原子炉圧力値及び原子炉格納容器圧力値の変動[8]を整理した。

これらのプラントパラメータについては、1 号機及び 3 号機の格納容器ベント並びに 1 号機、3 号機及び 4 号機の原子炉建屋における水素爆発の時期との関係を明確にするため、データの整理を行った。（表 3 参照）

**表 3　福島第一における格納容器ベント及び水素爆発等の整理**

| No. | 各号機における格納容器ベント | 原子炉建屋水素爆発 |
|---|---|---|
| 1 | 3 月 12 日 14 時 30 分頃<br>1 号機格納容器ベント | |
| 2 | | 3 月 12 日 15 時 36 分<br>1 号機原子炉建屋水素爆発 |
| 3 | 3 月 13 日 9 時頃<br>3 号機格納容器ベント | |
| 4 | 3 月 13 日 12 時頃<br>3 号機格納容器ベント | |
| 5 | | 3 月 14 日 11 時 01 分<br>3 号機原子炉建屋水素爆発 |
| 6 | | 3 月 15 日 06 時 12 分<br>4 号機原子炉建屋水素爆発 |

### （5）その他東京電力福島第一原子力発電所敷地外の測定データ等

#### ① 福島県モニタリングポストのスペクトルデータ（波高分布データ）

福島県のモニタリングポストの測定データでは、一部の局で測定していたスペクトルデータ（波高分布データ）の記録が残っており、該当するモニタリングポスト等の測定データの整理、分析を継続していく必要がある。

[8] 東京電力ホールディングス株式会社、東北地方太平洋沖地震発生当時の福島第一原子力発電所プラントデータ集、https://www.tepco.co.jp/decommission/data/past_data/accident_plantdata/index-j.html

### ② 東京電力福島第二原子力発電所敷地境界モニタリングポストの空間線量率データ

東京電力福島第二原子力発電所は、東京電力福島第一原子力発電所の南約 12㎞に位置し、同発電所敷地境界のモニタリングポストデータが公表[9]されている。

調査チームは、福島第二原子力発電所のモニタリングポスト（MP-1～7）の空間線量率データの整理を行った。2011 年 3 月 11 日から 3 月 31 日までの期間において、発電所敷地内の空間線量率等の測定が行われた地点は、図８のとおりである。

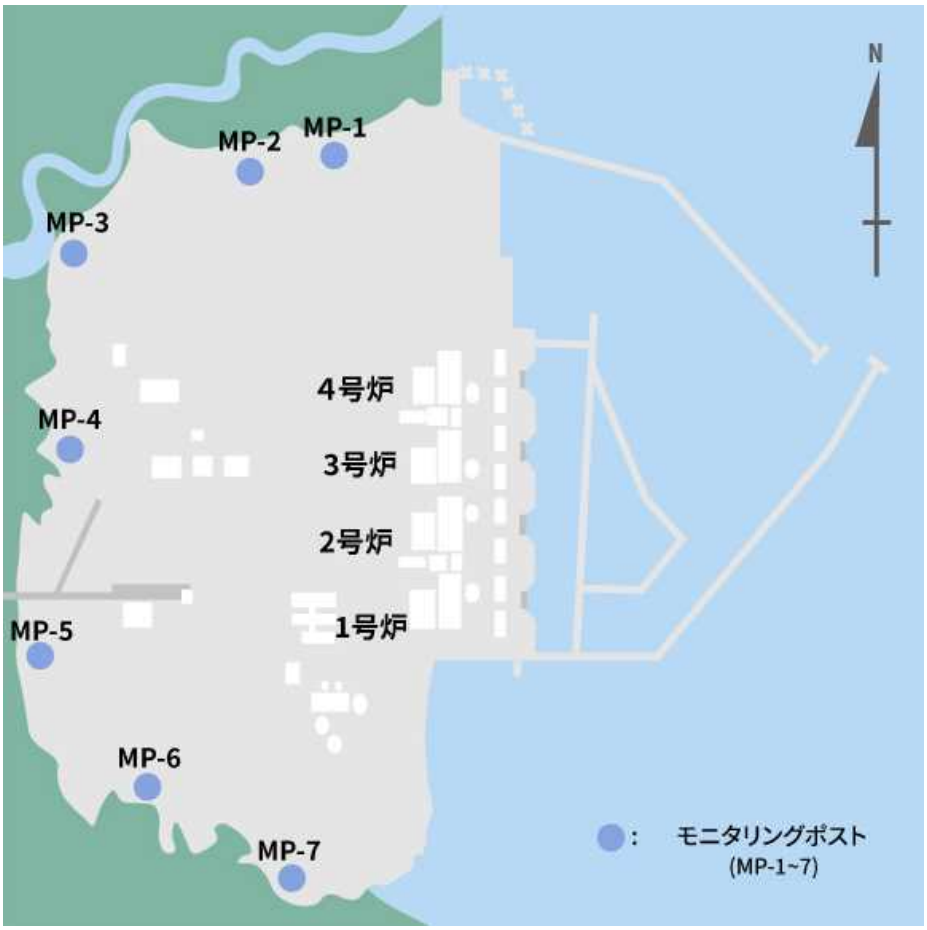



**図８　東京電力福島第二原子力発電所敷地内のモニタリングポストの概要**

9 東京電力ホールディングス株式会社、福島第二原子力発電所構内での計測データ 2011 年｜アーカイブ https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f2/data/2011/index-j.html

### ③ 浮遊塵サンプル等

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災以降、東京電力福島第一原子力発電所の周辺地域では、環境モニタリングのため、浮遊塵サンプルが採取され、保管されているものが確認されている。

調査チームは、これら浮遊塵サンプル等の採取時期、採取場所、保管状態、分析状況等の確認を進めており、必要に応じて、試料の分析等を検討していく予定である。

## ３．空間線量率等の測定データ

２．の収集データ等をもとに、表１の観点から空間線量率等の測定データを整理しているところである。各測定データの追加、比較を継続して行い、検討を進める必要がある。

### (1)　2011 年 3 月 12 日の空間線量率等の測定データの傾向

空間線量率のバックグラウンドが低い 3 月 12 日前後の測定データについて、東京電力福島第一原子力発電所の敷地周辺及び北側と発電所の敷地南側のモニタリングポスト局の傾向を比較した。(図 9 参照)

その結果、発電所敷地から半径 10km の圏内において、1 号機ベント及び 1 号機水素爆発より前に空間線量率のピークが確認されている。

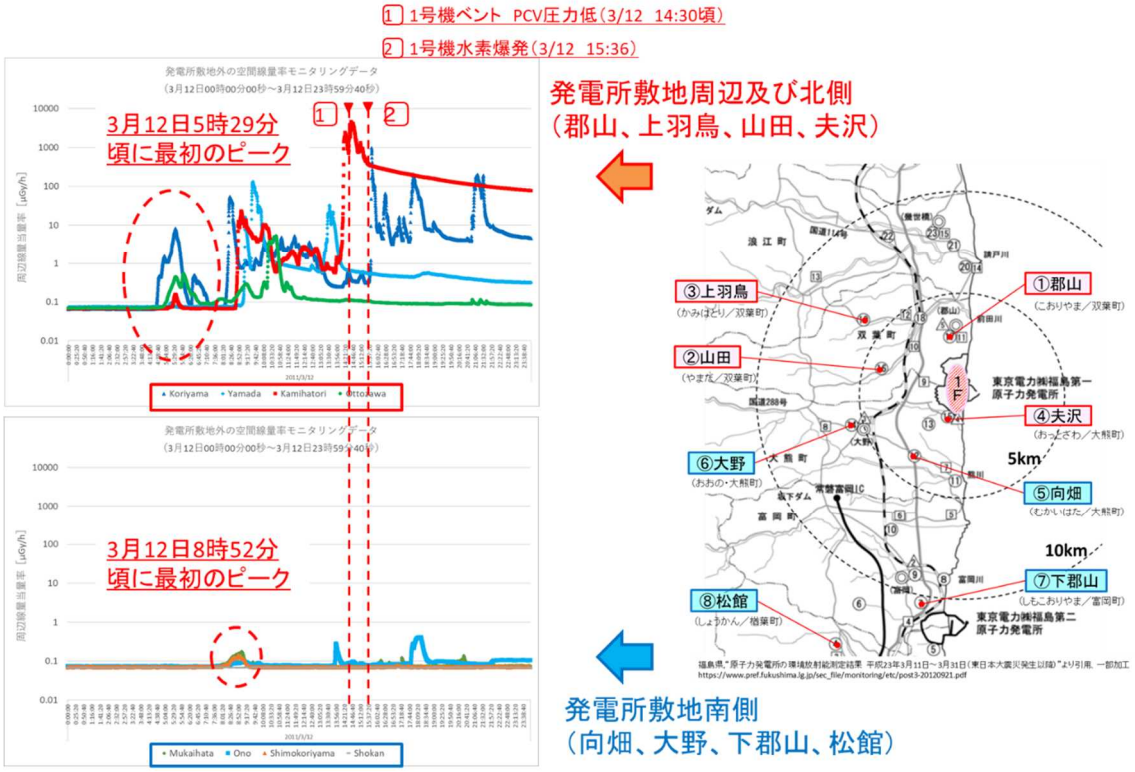



図９　発電所敷地外のモニタリングポスト測定データの傾向
[2011 年 3 月 12 日]

また、発電所敷地周辺及び北側のモニタリングポスト局（郡山、上羽鳥、山田、夫沢）と発電所敷地南側のモニタリングポスト局（向畑、大野、下郡山、松館）において、空間線量率のピークの傾向は異なっており、ピークの形状もピーク後にバックグラウンドが上昇しているものとバックグラウンドの上昇が見られないものが確認されている。（図１０及び図１１参照）

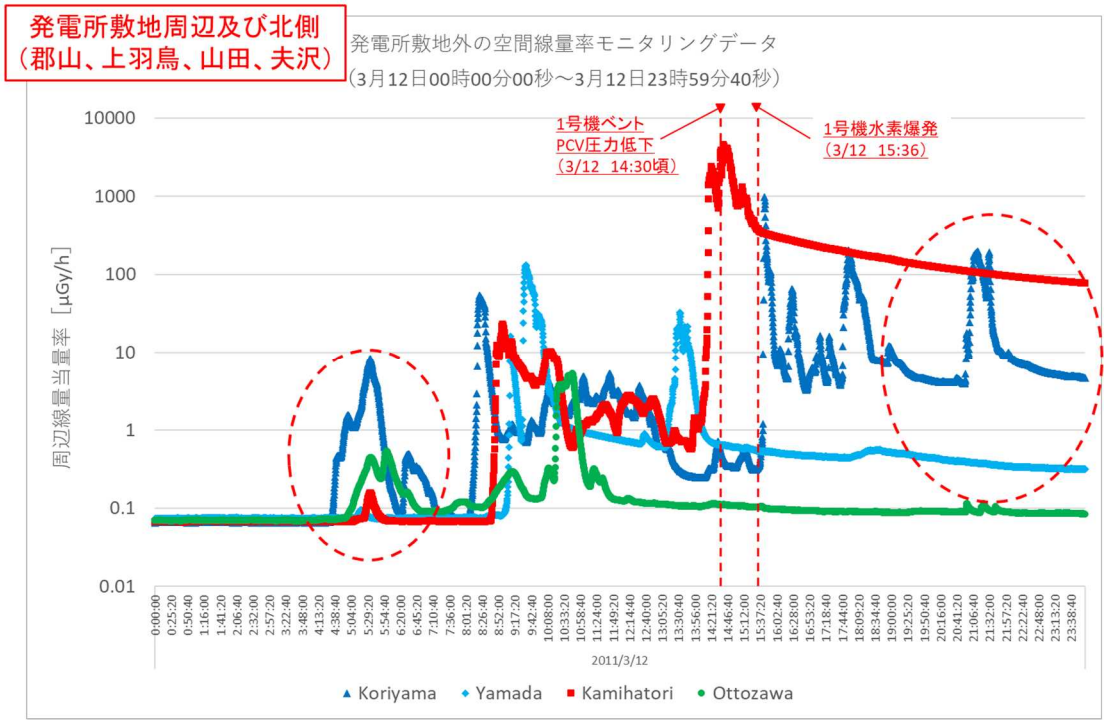



図１０　発電所敷地周辺及び北側のモニタリングポスト測定データの傾向
[2011 年 3 月 12 日]

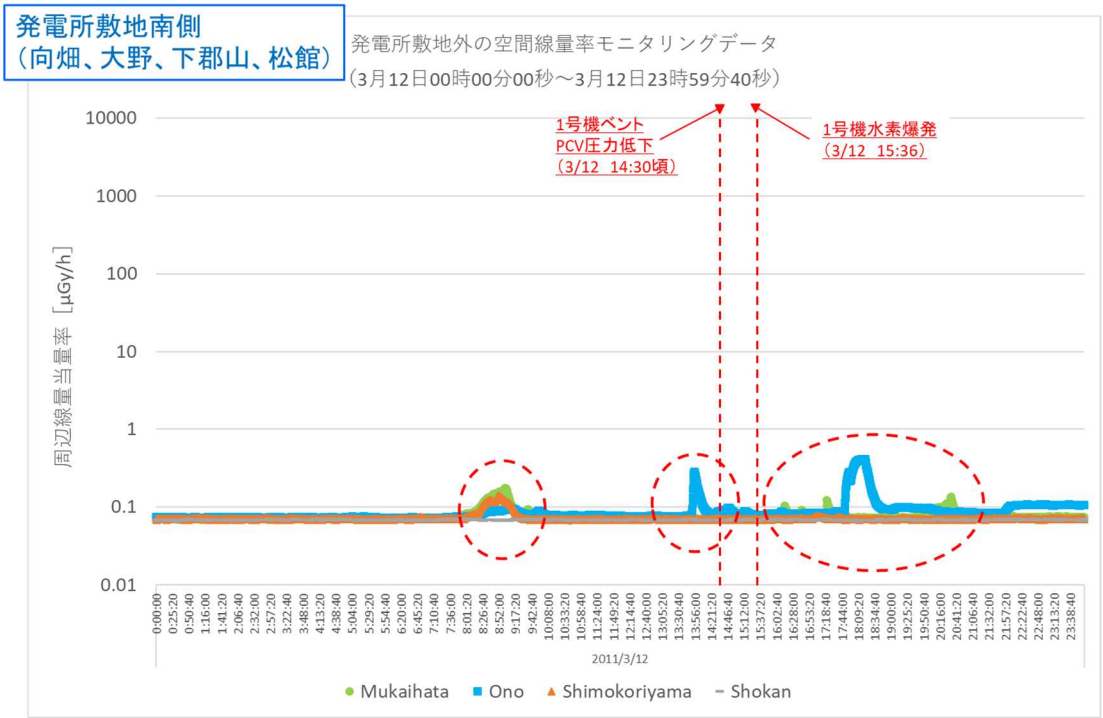



図１１　発電所敷地南側のモニタリングポスト測定データの傾向
[2011 年 3 月 12 日]

発電所敷地内のモニタリングポスト等についても空間線量率のバックグラウンドが低い 3 月 12 日前後の測定データについて整理すると 3 月 12 日の 04 時 00 分頃から空間線量率が全体的に上昇する傾向が確認されている。（図１２参照）

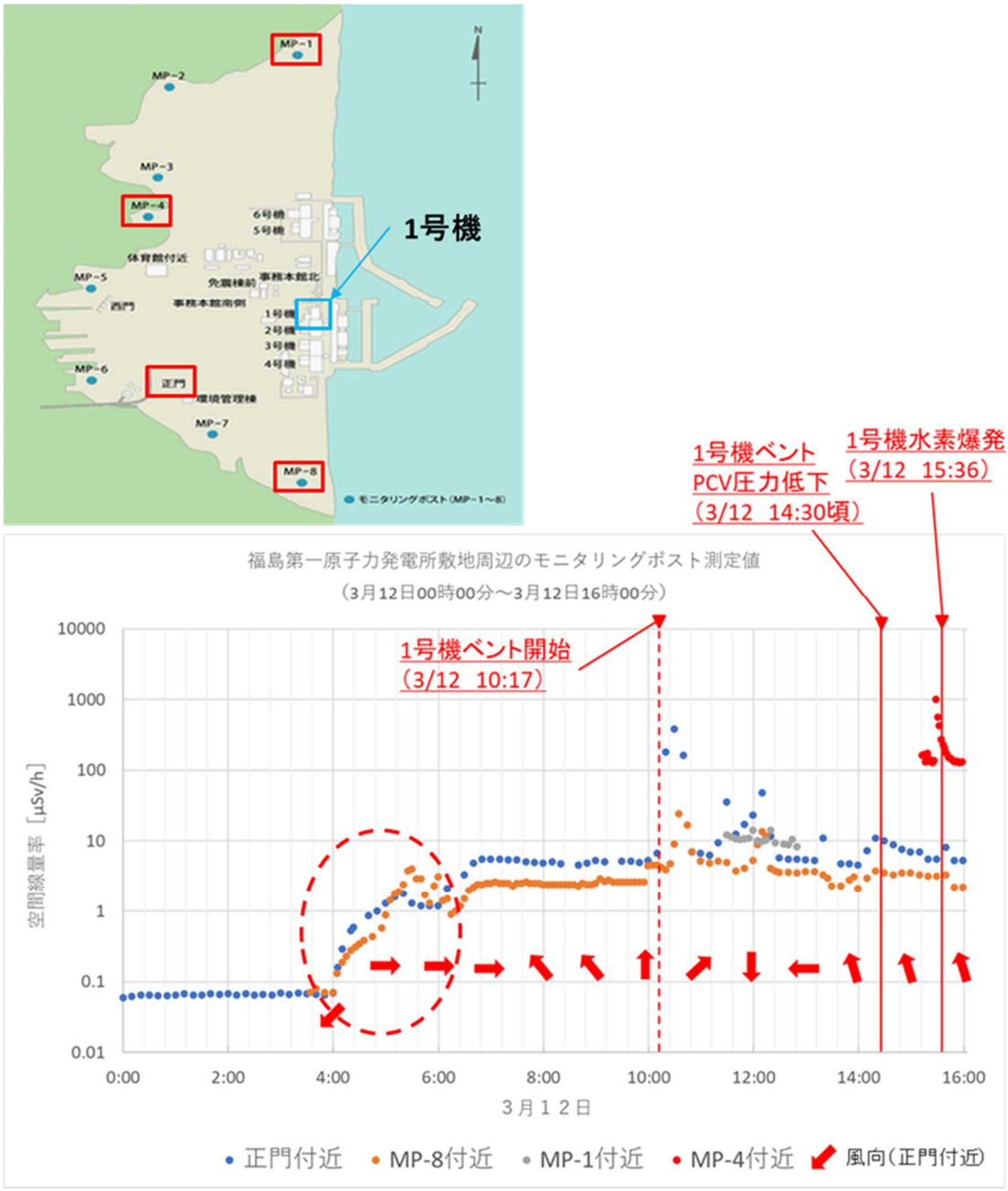



図１２　発電所敷地内のモニタリングポスト等の測定データの傾向
［2011 年 3 月 12 日］

これらの空間線量率のピークの形状から、放射性物質からの放射線を直接線、スカイシャイン線、クラウドシャイン線に大別し、下記の様態による空間線量率上昇の形態が推定できるのではないかと考えている。（図１３参照）

（A）直接線＋スカイシャイン線

原子炉建屋内に充満した放射性物質による直接線とスカイシャイン線による空間線量率の上昇。空間線量率が全体的に上昇し、バックグラウンドが上昇する。

（B）クラウドシャイン線

原子炉建屋外へ放出・漏えいした放射性物質の雲（主に希ガスから構成）が風の流れにより運ばれることで、測定位置に近づく場合と遠ざかる場合に空間線量率の上昇と下降を生じる。バックグラウンドの上昇は生じない。

（C）クラウドシャイン線＋直接線

原子炉建屋外へ放出・漏えいした放射性物質の雲（主にI、Cs等から構成）が風の流れにより運ばれることで、測定位置に近づく場合と遠ざかる場合に空間線量率の上昇と下降を生じる。また、放射性物質の雲からI、Cs等が周辺の地面等に沈降、沈着することで、直接線によるバックグラウンドの上昇が生じる。

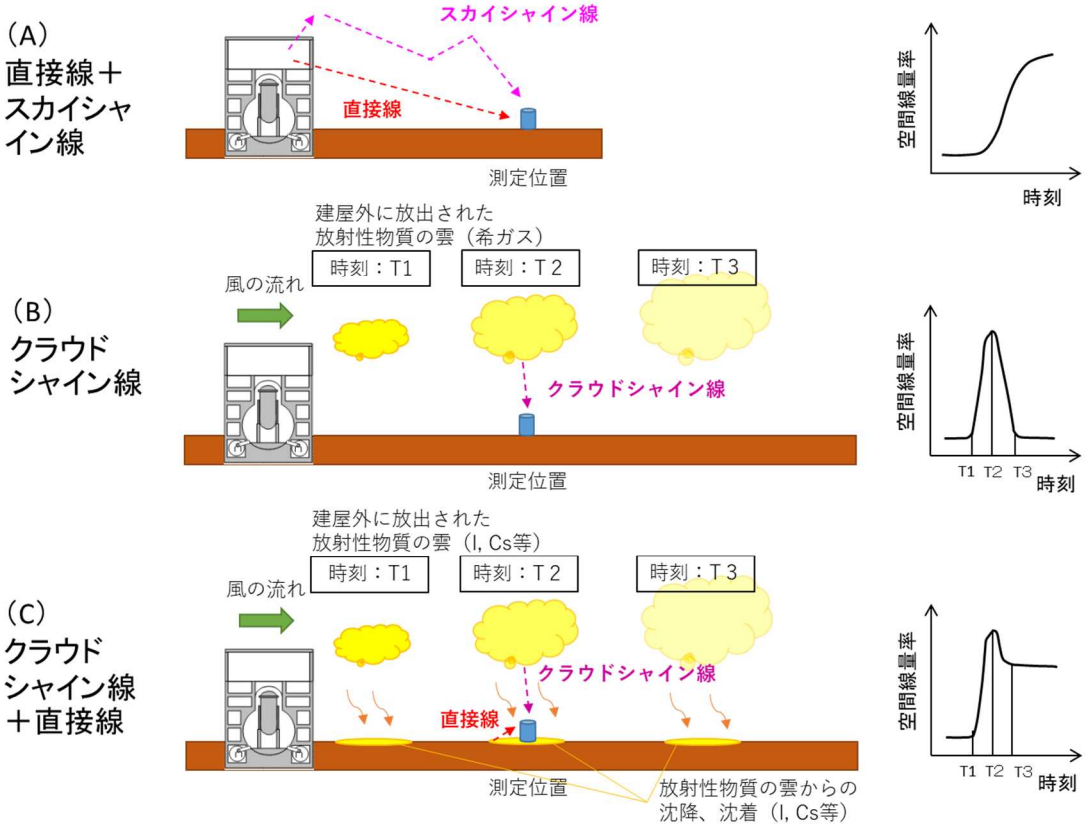
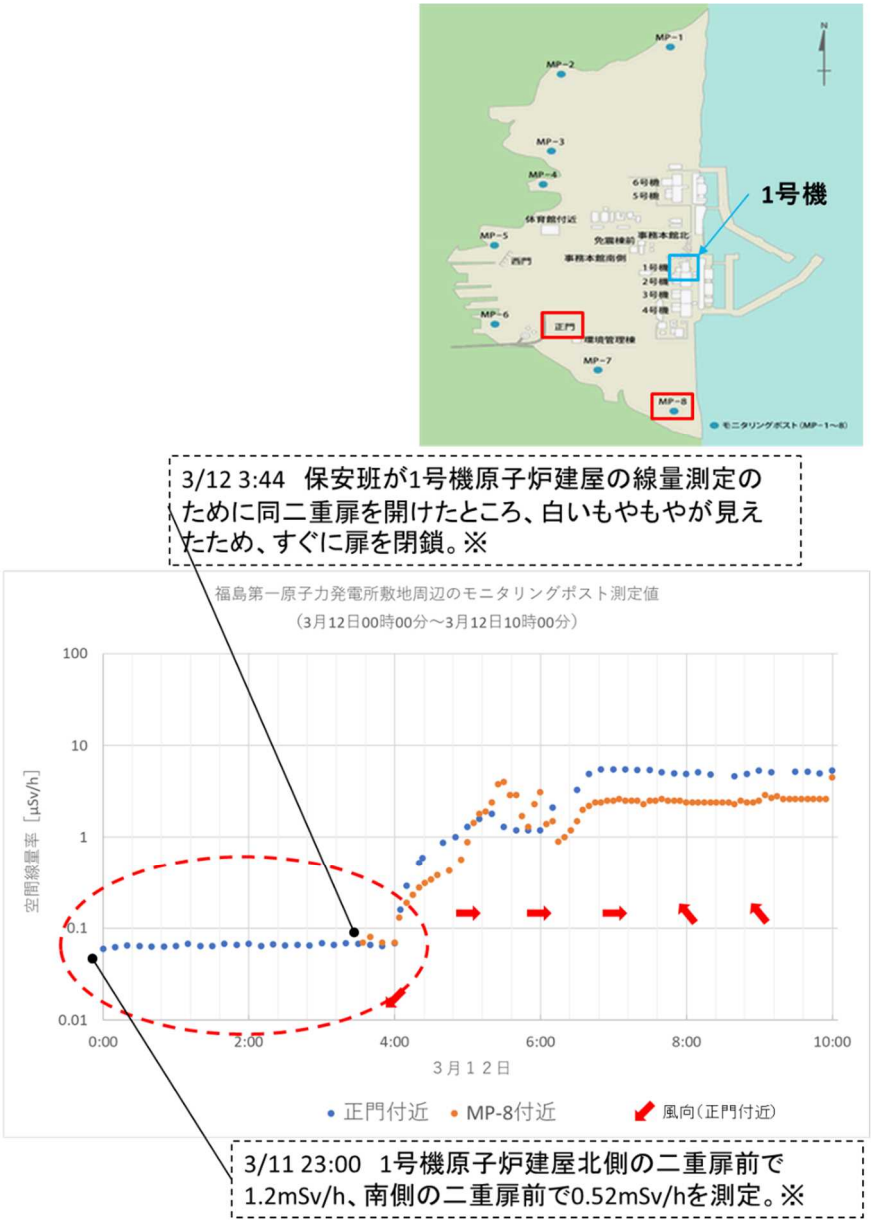



図１３　空間線量率上昇の形態の検討

東京電力福島第一原子力発電所敷地外及び発電所敷地内においては、1 号機格納容器ベント及び 1 号機原子炉建屋水素爆発より前となる 2011 年 3 月 12 日 04 時 00 分頃から 06 時 00 分頃にかけて、空間線量率の上昇が確認されている。

これらの空間線量率の上昇の原因となる放射性物質の放出・漏えいについては、3 月 11 日深夜から 3 月 12 日の未明（03 時 44 分頃）にかけて、1 号機原子炉建屋内で線量率の上昇が報告されており、1 号機原子炉建屋内に既に放射性物質が充満していたことを示唆しているものと考えられる。（図１４参照）




※東京電力株式会社、福島原子力事故調査報告書　平成24年6月20日

図１４　2011 年 3 月 12 日 04 時 00 分頃の空間線量率の上昇

東京電力福島第一原子力発電所発電所敷地内のモニタリングポスト等の測定データでは、1 号機原子炉建屋水素爆発前後の空間線量率の上昇の他、1 号機格納容器ベントのための弁操作等を実施している 3 月 11 日 10 時 17 分以降等にも空間線量率の上昇が確認されている。しかし、1 号機の原子炉圧力値及び 1 号機格納容器圧力値等のプラントパラメータの推移と比較すると、当該時間帯に大きな圧力値の変動はみられない。

これらのことから、1 号機～3 号機等の原子炉圧力や格納容器圧力等のプラントパラメータとの比較検討や事象進展と空間線量率の測定データとの比較検討等を進めていく必要がある。

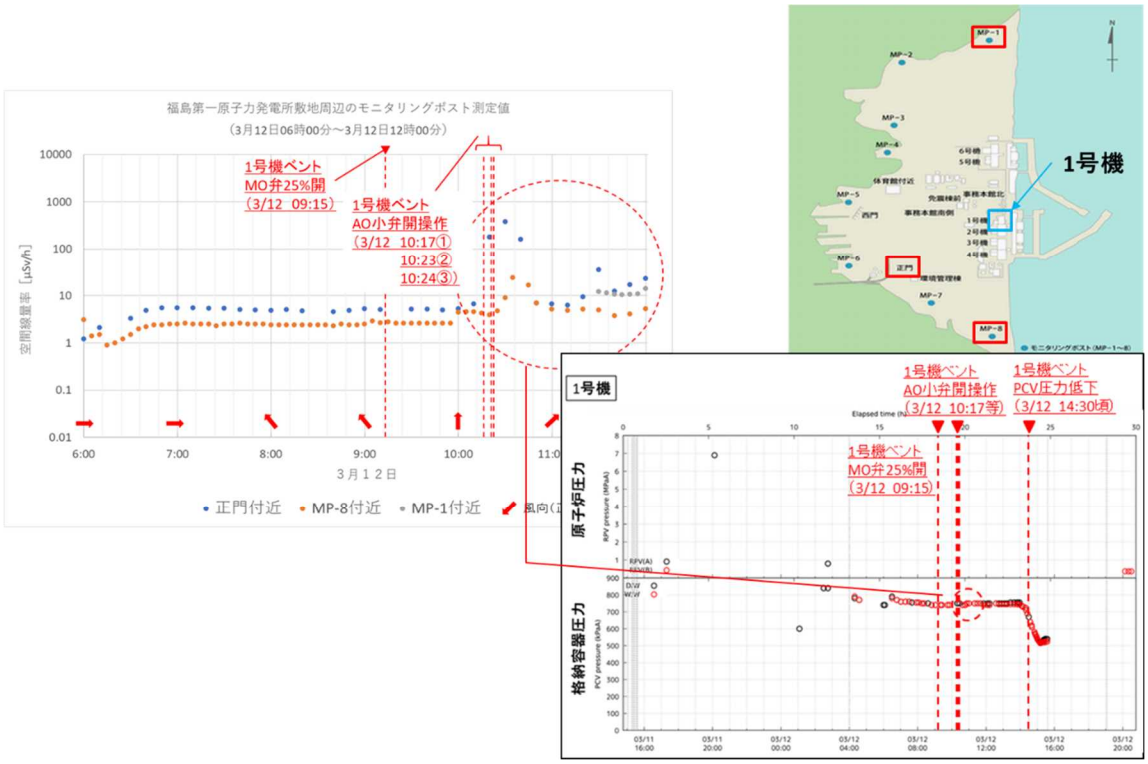



**図１５　2011 年 3 月 12 日 10 時 17 分以降の空間線量率の上昇等**

東京電力福島第一原子力発電所敷地内の空間線量率の測定データとして、6 号機非常用ガス処理系排ガス放射線モニタ及び 5 号機主排気筒放射線モニタ並びに 3 号機の非常用ガス処理系排ガス放射線モニタ及び主排気筒放射線モニタを比較した。（図１６参照）

6 号機非常用ガス処理系排ガス放射線モニタは、図５にあるように建屋外に放射線モニタが設置されており、モニタの周囲に放射性物質の雲等が近づいた場合に空間線量率の上昇として記録されるものと考えられる。一方、その他の 3 号機

非常用ガス処理系排ガス放射線モニタや5号機及び3号機主排気筒放射線モニタは各々建屋内に放射線モニタが設置されており、建屋の遮蔽効果等の影響を検討する必要がある。

これらの測定データを比較すると、放射線モニタが建屋外に設置されている6号機非常用ガス処理系排ガス放射線モニタ以外の放射線モニタは、空間線量率の上昇が確認されるがその上昇は幅広な山状のものであり、全体的にバックグラウンドが上昇している傾向となっている。一方、6号機非常用ガス処理系排ガス放射線モニタは、複数の空間線量率のピークが確認されており、1号機格納容器ベントのタイミングや1号機原子炉建屋水素爆発のタイミングの前後でも空間線量率のピークが確認されるなど、1号機からの放射性物質の放出・漏えいによる放射性物質の雲の移動による影響を受けているものと考えられる。

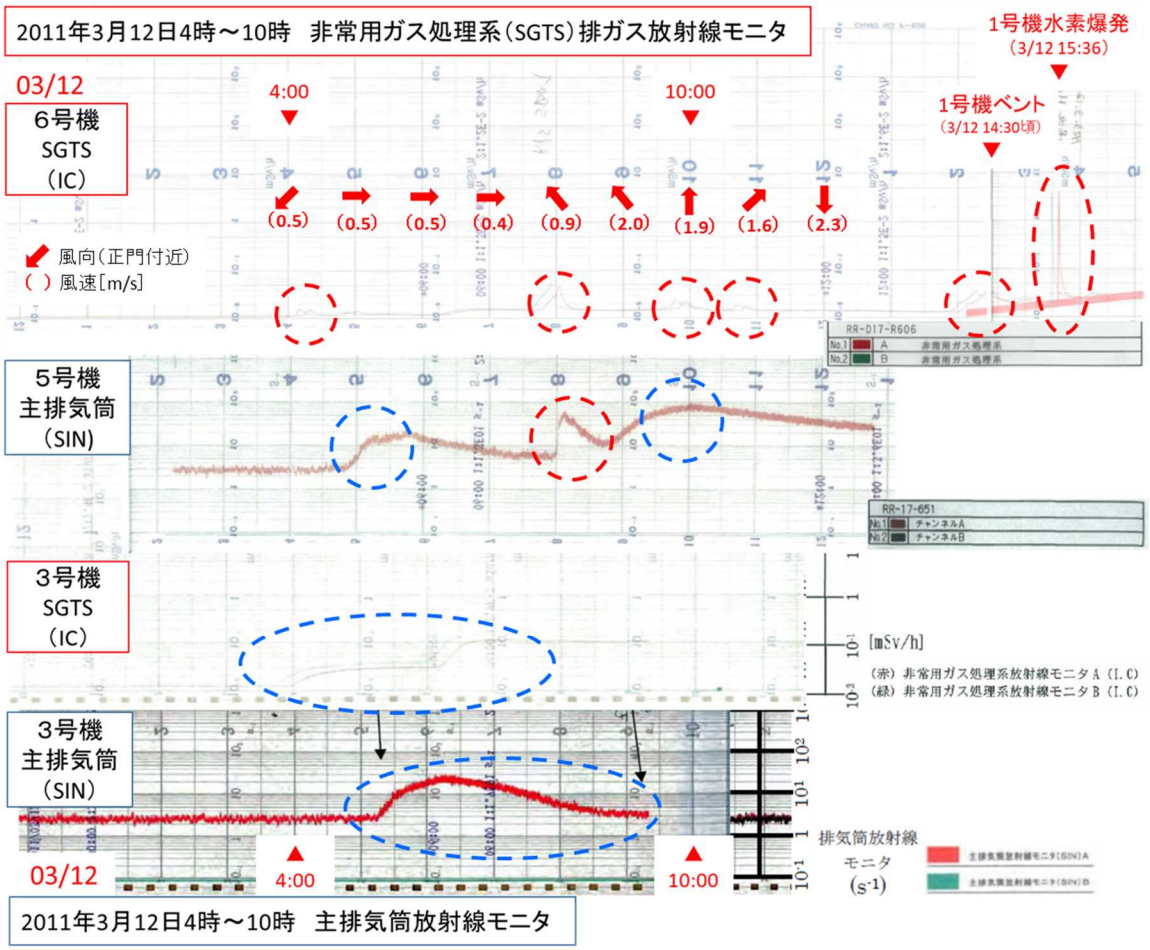



図１６　プロセスモニタ等における空間線量率の測定データ

空間線量率のバックグラウンドが低い 3 月 12 日前後の測定データについて、東京電力福島第一原子力発電所の敷地内外及び 6 号機非常用ガス処理系排ガス放射線モニタの比較を行った。（図１ 7 参照）

比較にあたっては、1 号機から北側に位置する 6 号機非常用ガス処理系排ガス放射線モニタ、MP-1 付近及び MP-4 付近のモニタリングカー、発電所敷地北側のモニタリングポスト局（郡山、山田、上羽鳥）を中心に行っている。

その結果、3 月 12 日 04 時 00 分頃から発電所敷地の南西に位置する正門付近及び敷地南側に位置する MP-8 付近で全体の空間線量率が上昇する傾向が出るとともに、1 号機から北側に位置する 6 号機非常用ガス処理系排ガス放射線モニタ及び発電所敷地北側のモニタリングポストで空間線量率のピークが確認された。これらの空間線量率のピークは複数確認されるが、明確に 1 号機に近い放射線モニタから順にピークがたつという傾向は確認されず、放射性物質の雲の移動による影響を示唆するものにとどまる。一方、発電所敷地外のモニタリングポストのデータでは最初の空間線量率のピーク（3 月 12 日 05 時 29 分頃）以降、バックグラウンドが上昇する傾向にあり、放射性物質の雲による周辺の汚染が拡がっている傾向がうかがえる。

さらに 1 号機原子炉建屋水素爆発の前後で 2 桁～3 桁程、空間線量率が上昇するピークが確認されており、1 号機原子炉建屋の水素爆発に伴い、放射性物質が拡がった可能性がある。

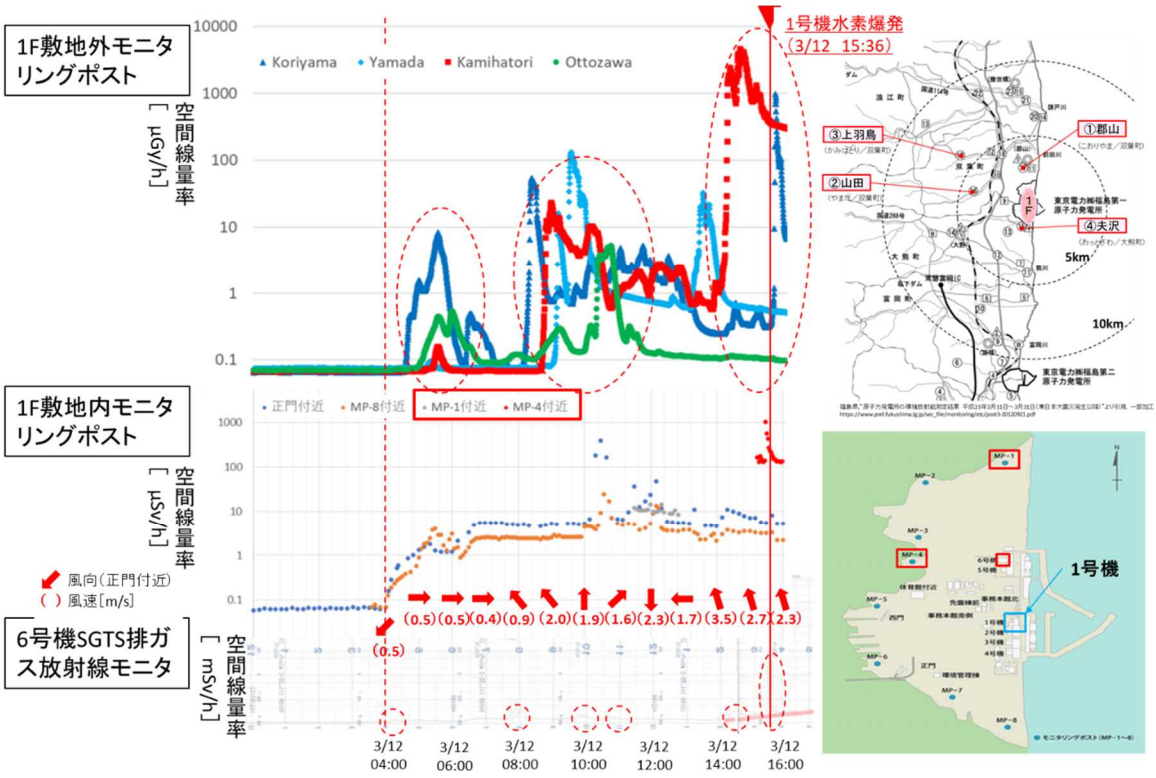



図１７　空間線量率測定データの比較

## (2) 2011 年 3 月 12 日～16 日の空間線量率等の測定データの傾向

2011 年 3 月 12 日～16 日の期間は、1 号機及び 3 号機における格納容器ベントや 1 号機、3 号機及び 4 号機の原子炉建屋水素爆発等の空間線量率の変動に大きく影響すると考えられる事象進展が想定されるため、発電所敷地内外の空間線量率の測定データと 1 号機、2 号機及び 3 号機の原子炉圧力及び格納容器圧力の変動を比較した。（図１８～２０参照）

その結果、各号機の格納容器圧力の変動の時期と空間線量率のピークの時期（図１８，１９中の A～D）に傾向が見られるようであり、今後、比較検討すべきと考えられる。

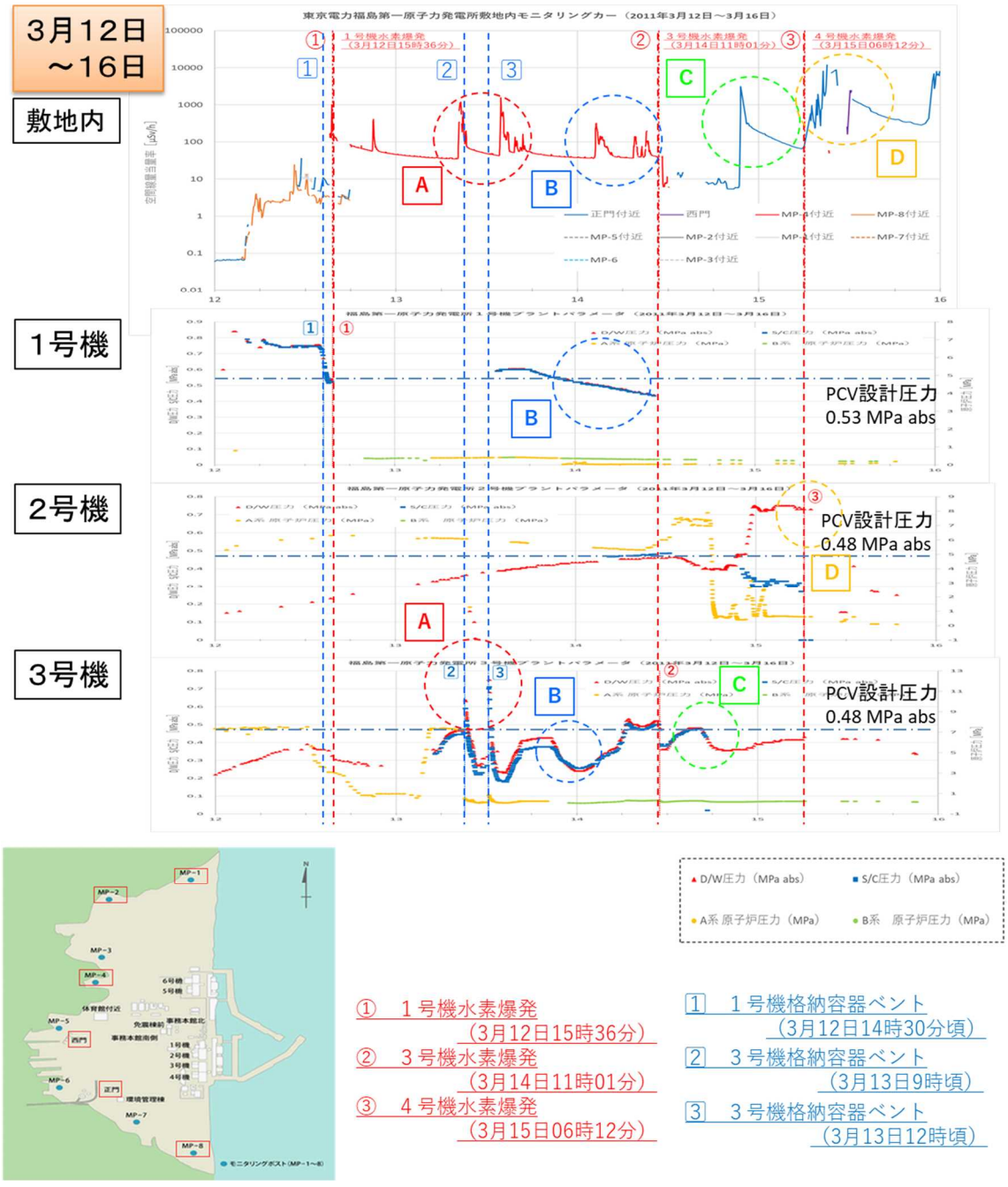



図１８　2011 年 3 月 12 日～16 日の空間線量率等の測定データと
プラントパラメータの比較の例

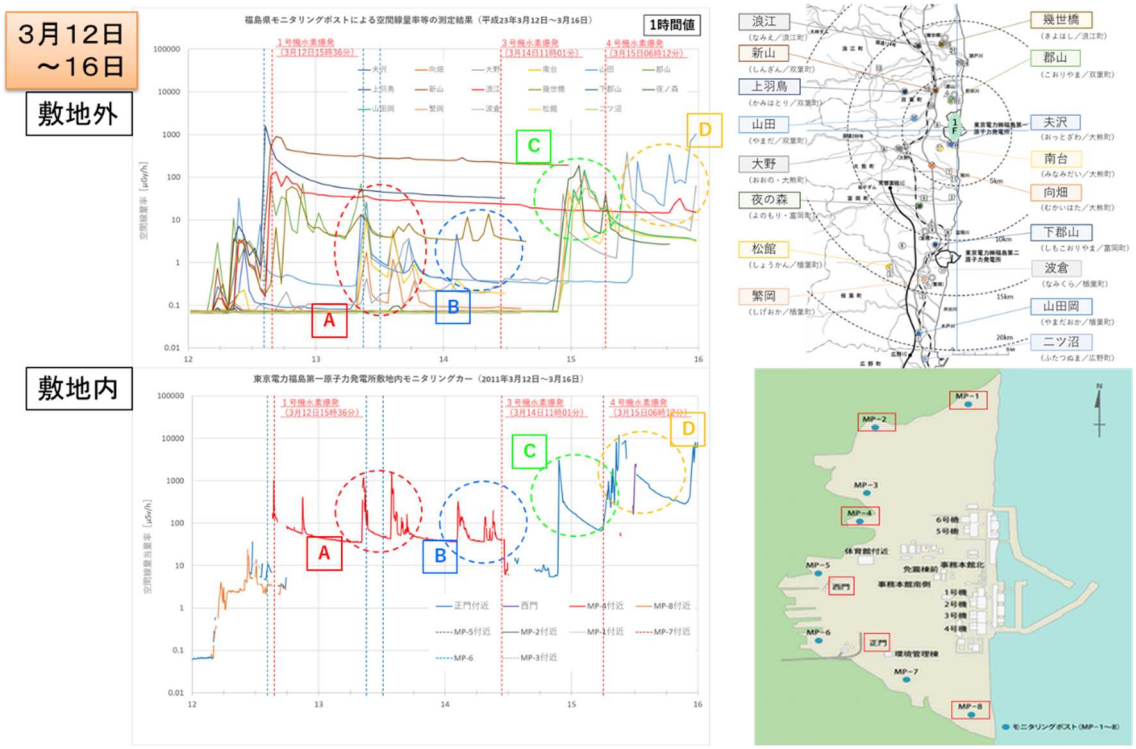



図１９　2011 年 3 月 12 日～16 日の空間線量率等の測定データの例

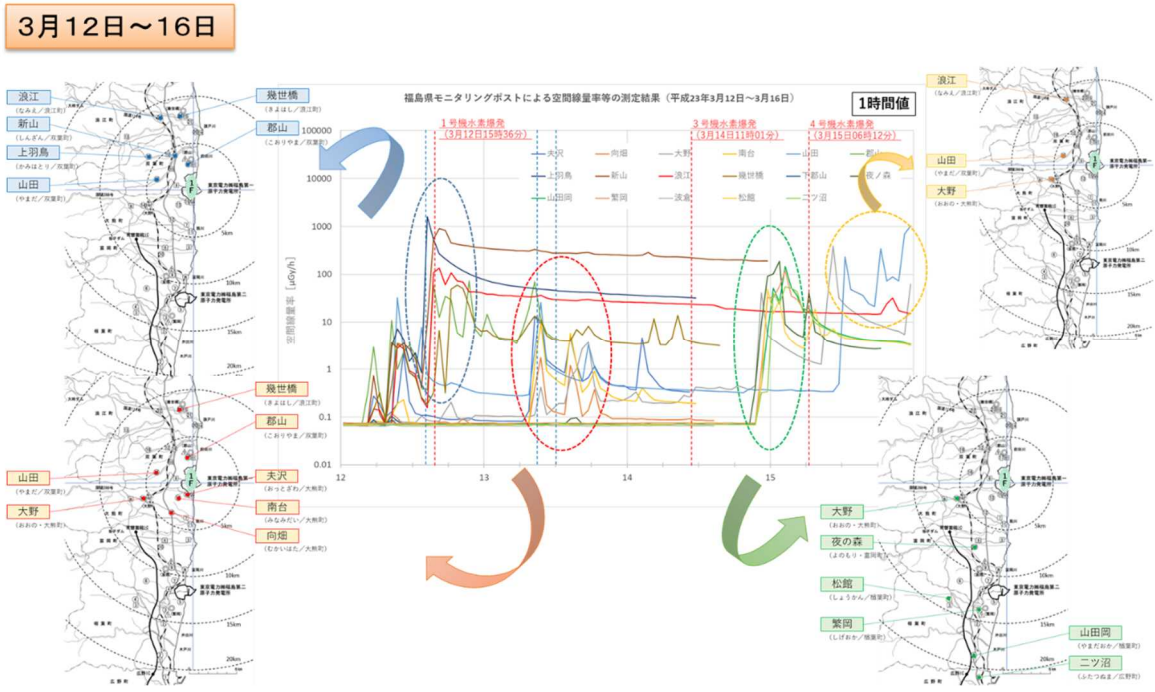



図２０　2011 年 3 月 12 日～16 日の敷地外空間線量率測定データの傾向の例

### (3) 2011 年 3 月 16 日～31 日の空間線量率等の測定データの傾向

2011 年 3 月 16 日～31 日の期間は、発電所敷地内外での空間線量率のバックグラウンドは高く、複数の空間線量率のピークも確認されている。これらの空間線量率の測定データと 1 号機、2 号機及び 3 号機の原子炉圧力及び格納容器圧力の変動と比較した。（図２１～２２参照）

この期間においては、1 号機、2 号機及び 3 号機の格納容器圧力の大きな変動が無い状態でいくつかの空間線量率のピークが確認されている。

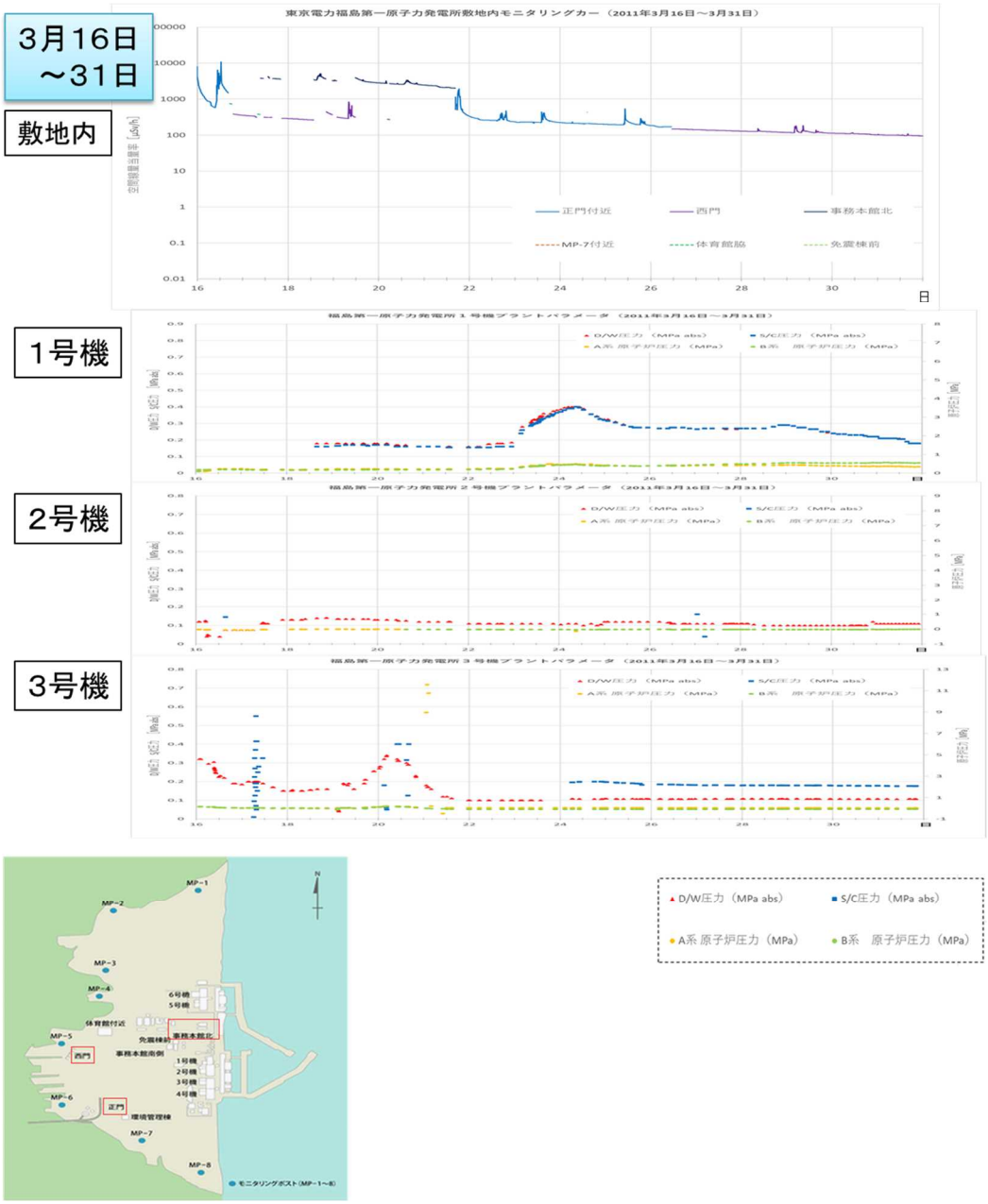



**図２１　2011 年 3 月 16 日～31 日の空間線量率等の測定データとプラントパラメータの比較の例**

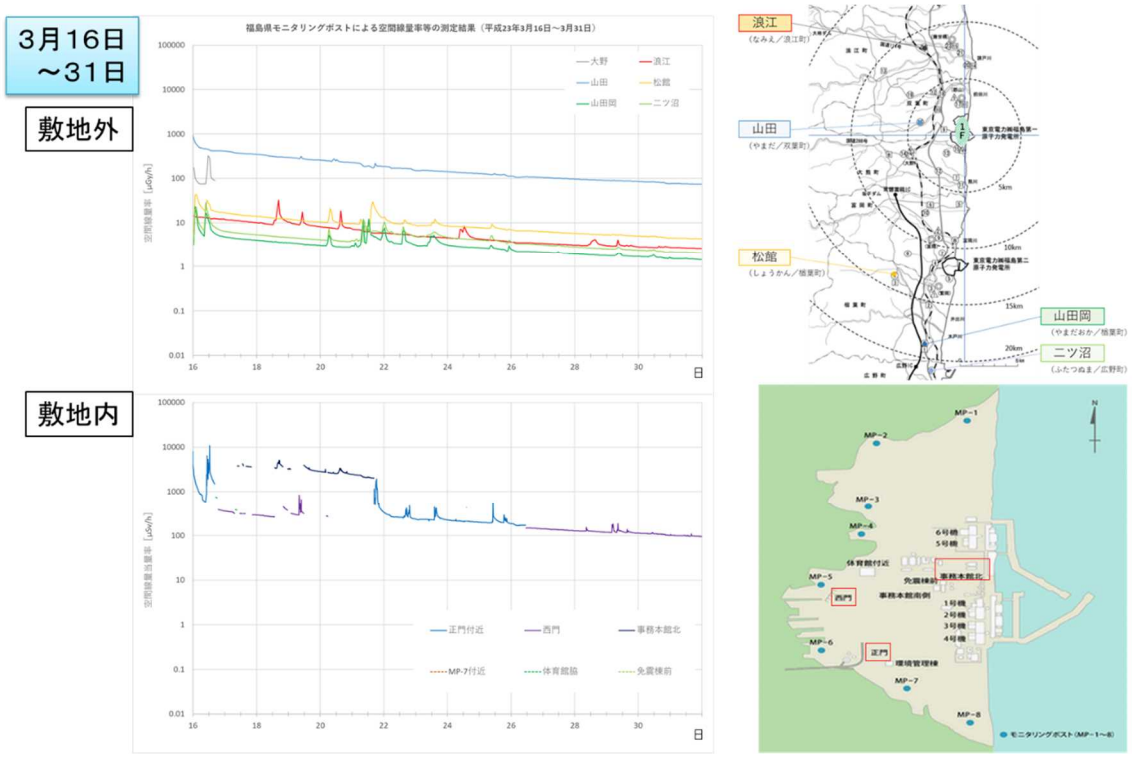



図２２　2011 年 3 月 16 日～31 日の空間線量率等の測定データの例

## ４．まとめ

本レポートの段階では、福島県のモニタリングポストにおけるスペクトルデータ（波高分布データ）や浮遊塵サンプルの確認、整理を進めている状況であり、空間線量率の測定データ等についても、十分な比較検討が進んでいない。1 号機、2 号機及び 3 号機の原子炉圧力、格納容器圧力等のプラントパラメータとの比較についても事故時の事象進展と放射性物質の放出、漏えいとの関係を明らかにするものであり、有用な知見が得られる可能性が高い。

今後、整理した測定データの分析及び確認を進めているその他データの整理、分析を進めることが重要であると考える。

## 引用文献等


１） 福島県、“平成 23 年 3 月 11 日～3 月 31 日（東日本大震災発生以降）にモニタリングポストで測定された空間線量率等の測定結果について”、
https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025d/post-oshirase.html

２） 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構　放射線科学センター・アーカイブス、
▸2011 年 3 月の福島県モニタリングポストでの放射線情報, KEK Internal 2020-08
https://rcwww.kek.jp/research/archives.html

３） 東京電力ホールディングス株式会社、福島第一原子力発電所構内での計測データ｜アーカイブ、
▸2011 年 3 月 11 日から 31 日までのモニタリングデータ
https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/indexold-j.html

４） 東京電力ホールディングス株式会社、東北地方太平洋沖地震発生当時の福島第一原子力発電所プラントデータ集、
https://www.tepco.co.jp/decommission/data/past_data/accident_plantdata/index-j.html

５） 東京電力ホールディングス株式会社、福島第二原子力発電所構内での計測データ 2011 年｜アーカイブ
https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f2/data/2011/index-j.html

（別添１３）

# １号機原子炉建屋３階及び４階の調査結果

原子力規制庁原子力規制部
東京電力福島第一原子力発電所事故対策室　佐藤　雄一
原子力規制庁原子力安全人材育成センター
原子炉技術研修課　教官　上ノ内　久光

## １．検討目的

原子力規制庁は、1号機原子炉建屋内の汚染分布及び損傷状況を把握するため、2021年11月及び2022年4月に現地調査を実施した。

## ２．調査方法

現地調査では、電離箱[1]、放射線遠隔探知機（テレテクター）（GM計数管）[1]及びポケット線量計（CsI(Tl)シンチレーションガイガーカウンター）による周辺線量当量率（以下「線量率」という。）の測定を実施するとともに、目視にて損傷状況を確認した。

## ３．１号機原子炉建屋３階

1号機原子炉建屋3階までのアクセスルートを図1に、1号機原子炉建屋3階の調査ルート及び空間線量率の測定結果を図2に示す。

1号機原子炉建屋1階西側の大物搬入口から入域し、北西側の階段を上って3階フロアに入り、同フロア東側に位置する部屋（CRDリペア室）内の損傷状況、非常用復水器（IC）への接続配管の汚染状況等を調査した。

---

[1] 東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ～2019年9月から2021年3月までの検討（2021年3月5日、東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会）別添1に仕様等を示している。

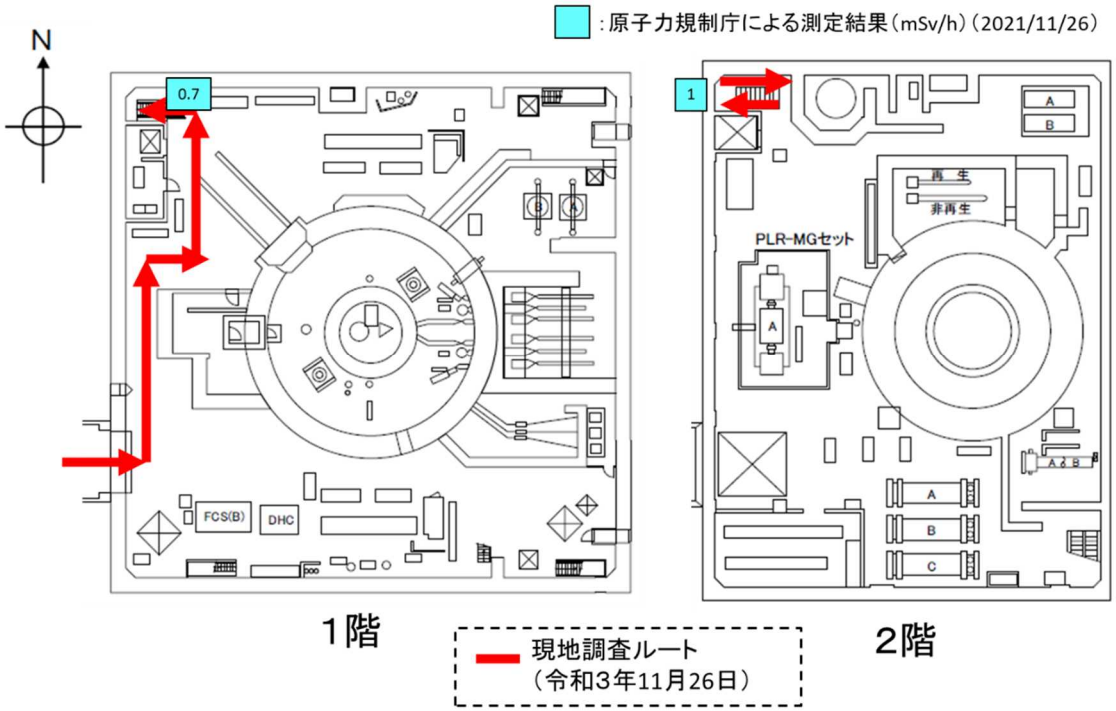



図１　１号機原子炉建屋３階までのアクセスルート

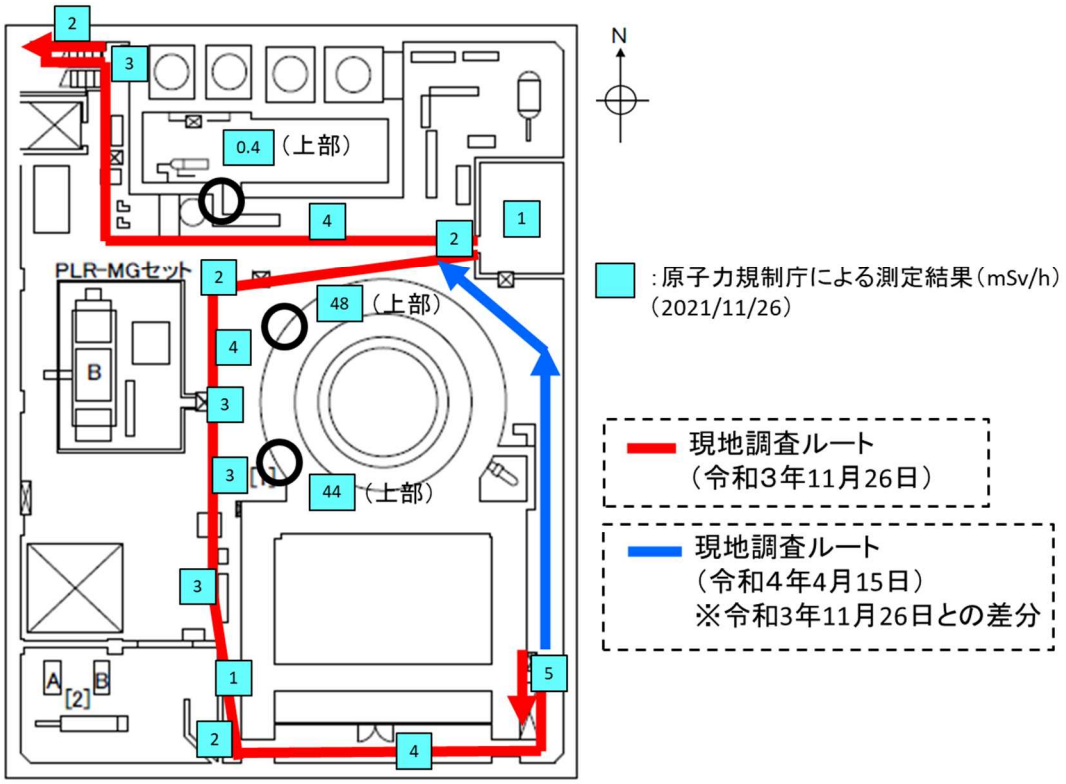



図２　調査ルート及び空間線量率の測定結果（1 号機原子炉建屋３階）

（１） 東側に位置する部屋（CRD リペア室）の状況

調査箇所を図 3 に示す。

CRD リペア室内部の線量率は 1mSv/h 程度であった。

部屋の入口について、図 4 に示すように、入口のドア枠は塗装が剥がれているものの形状は維持されていた。また、図 5 に示すように、ドアそのものは部屋の内部に落ちていた。

部屋内部の設備について、図 6 及び図 7 に示すように、ダクトは内側から外側に膨らんでいる様子やめくれ上がっている様子が確認されたが、壁から離れている様子や床面に落下している様子は確認されなかった。また、図 8 に示すように、部屋内部の資機材は大規模な損傷や転倒は確認されなかった。

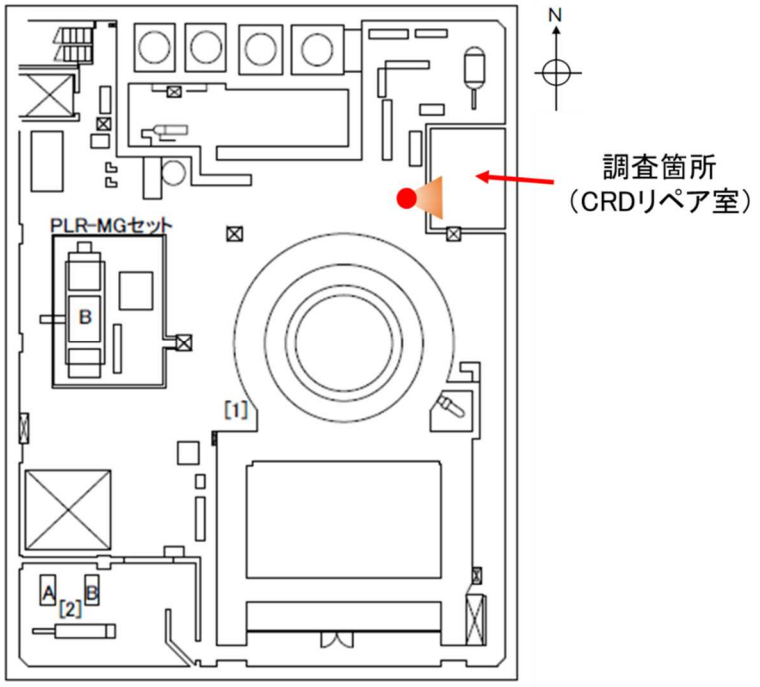



**図 3　調査箇所（1 号機原子炉建屋 3 階東側の部屋（CRD リペア室））**



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 4　1 号機原子炉建屋 3 階東側の部屋（CRD リペア室）の入口付近の状況
（ドア枠上部）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 5　1 号機原子炉建屋 3 階東側の部屋（CRD リペア室）の状況
（室内に向かって扉等が破損している）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 6　1 号機原子炉建屋 3 階東側の部屋（CRD リペア室）の状況
（部屋内部のダクト）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 7　1 号機原子炉建屋 3 階東側の部屋（CRD リペア室）の状況
（めくれ上がったダクト）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

**図 8　1 号機原子炉建屋 3 階東側の部屋（CRD リペア室）の状況**
**（部屋内部の資機材の状況）**

（２） IC への接続配管の汚染状況

① 北西側の接続配管

調査箇所を図 9 に示す。

測定対象配管は、図 10 中の「X-10A」（IC（A 系）配管の貫通部）と記載されている付近に位置するが、配管そのものは目視で確認できなかったため、「X-10A」と記載されている付近の線量率を測定したところ、最大で約 48mSv/h であった（図 12）。測定対象配管から少し離れた箇所における線量率は約 4mSv/h であり（図 11）、測定対象配管は何らかの要因により汚染していることが確認された。

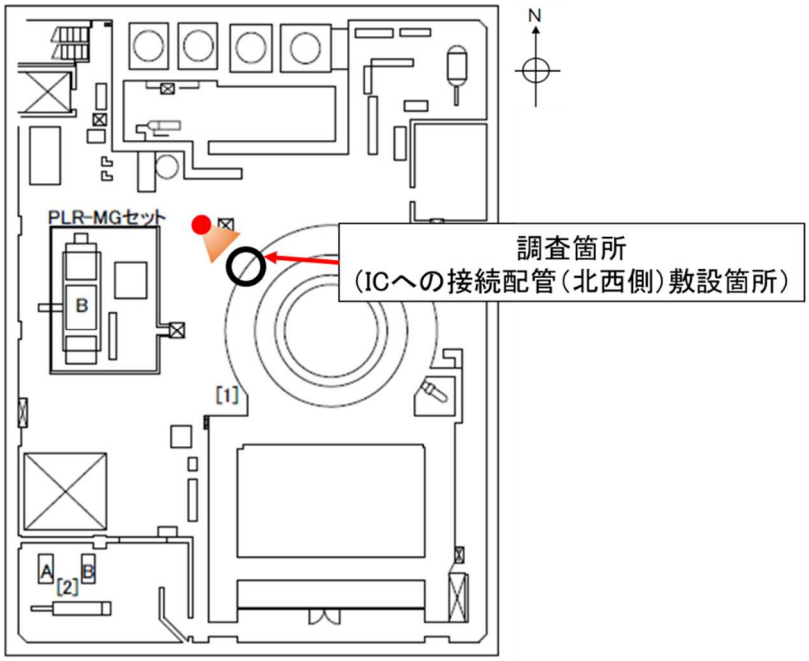



図 9　調査箇所（IC への接続配管（北西側））




2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 10　測定対象配管周辺の状況




2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

**図 11　測定対象配管周辺の線量率**




2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

**図 12　測定対象配管付近の線量率**

② 南西側の接続配管

調査箇所を図 13 に示す。

測定対象配管は、図 14 中の配管ラックの上部に位置すると思われるが、配管そのものは目視で確認できなかったため、配管ラック付近の線量率を測定したところ、最大で約 44mSv/h であった（図 16)。測定対象配管から少し離れた箇

所における線量率は約 4mSv/h であり（図 15)、測定対象配管は何らかの要因により汚染していることが確認された。

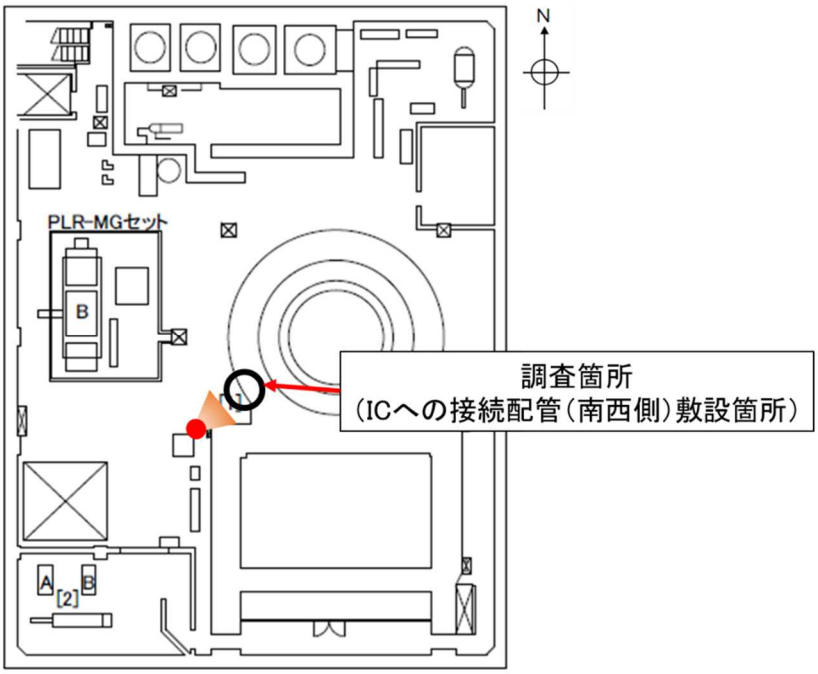



図 13　調査箇所（IC への接続配管（南西側））




2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 14　測定対象配管周辺の状況



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

**図 15　測定対象配管周辺の線量率**



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

**図 16　測定対象配管付近の線量率**

（３） その他の箇所の汚染状況

3 階フロア北側に位置する原子炉冷却材浄化系（CUW）バルブ室付近（位置は図 17 参照）の線量率を測定したところ、部屋周辺は 3mSv/h 程度、部屋の入口付近は 0.4mSv/h 程度であった（図 18～20）。

また、3 階フロア全体の線量率は、最大で 5mSv/h 程度であった。

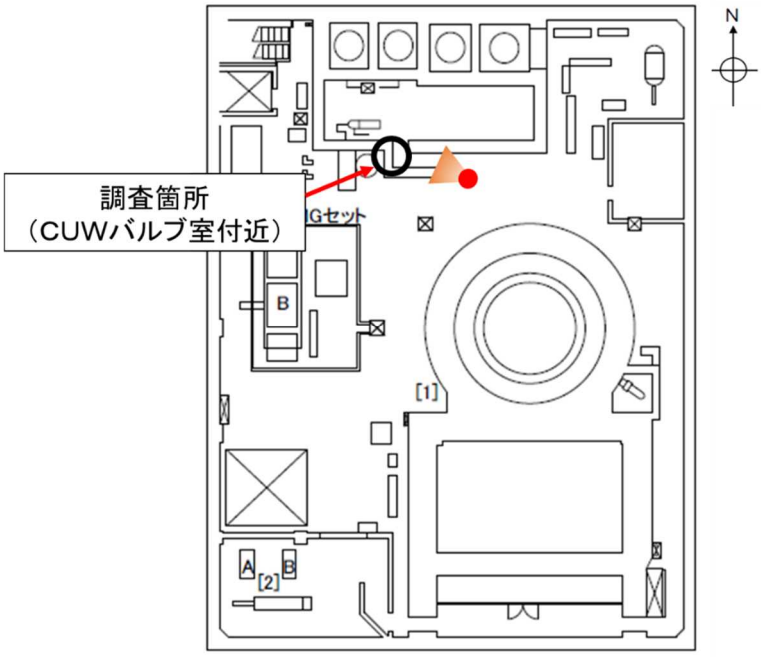



図 17　調査箇所（原子炉冷却材浄化系（CUW）バルブ室付近）




2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 18　原子炉冷却材浄化系バルブ室付近




2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 19　原子炉冷却材浄化系バルブ室付近の線量率




2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 20　原子炉冷却材浄化系バルブ室入口付近の線量率

## ４．１号機原子炉建屋４階

1 号機原子炉建屋 4 階の調査ルート及び線量率の測定結果を図 21 に示す。1 号機原子炉建屋 4 階へは、北西側の階段及び南東側の階段の 2 箇所からアクセスし、IC の北側フロアの汚染状況、IC（B 系）の南側の汚染状況、4 階各箇所の損傷状況等を調査した。

なお、4 階から 5 階に向かう階段は、北西側及び南東側の階段ともに階段が落下しており、5 階へのアクセスは不可能な状態であった（図 22）。

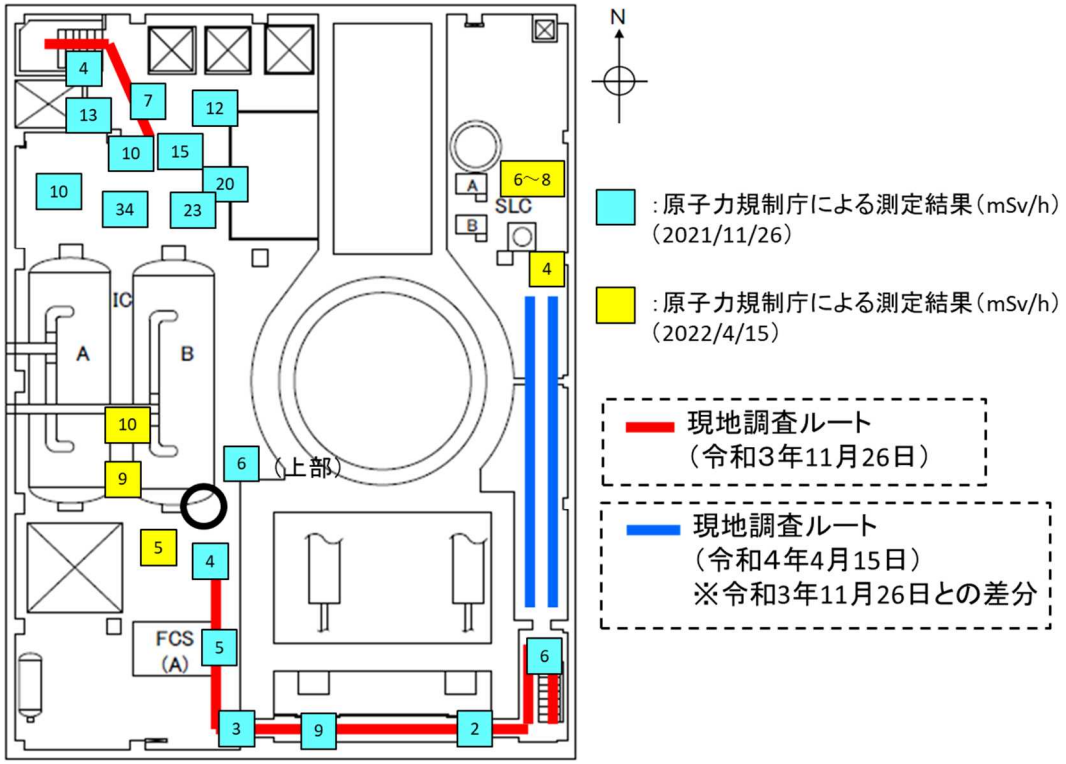



図 21　調査ルート及び空間線量の測定結果（1 号機原子炉建屋 4 階）




2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 22　4 階から 5 階に向かう階段の状況（北西側）

（１） IC の北側フロア

北西側階段付近の線量率は約 4mSv/h であったが、IC に近い箇所では最大で約 34mSv/h の線量率であった。

① 北西側階段の隣にあるエレベータ室

調査箇所を図 23 に示す。

エレベータ室入口付近の線量率は約 10mSv/h であった。また、エレベータ室入口ではコンクリートが消失し鉄筋がむき出しになっている様子が確認されたが、エレベータ室内は大規模な損傷は確認されなかった。（図 24～26）

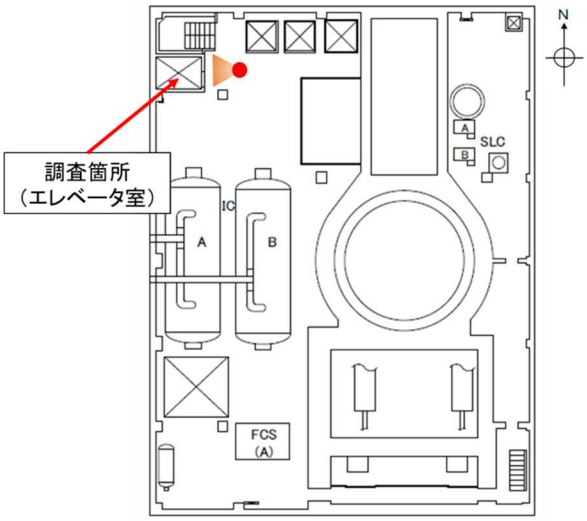



図 23　調査箇所（北西側階段の隣にあるエレベータ室）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 24　エレベータ室入口付近（1 号機原子炉建屋 4 階）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

**図 25　エレベータ室内（下方）（1 号機原子炉建屋 4 階）**



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

**図 26　エレベータ室内（上方）（1 号機原子炉建屋 4 階）**

② IC の北側付近

調査箇所を図 27 に示す。

IC 付近の天井は完全に崩落しており、IC 付近には、垂れ下がった鉄筋やコンクリートがれきが多数存在していた。IC には目立った損傷や保温材の剥がれは確認されなかった。（図 28～30）

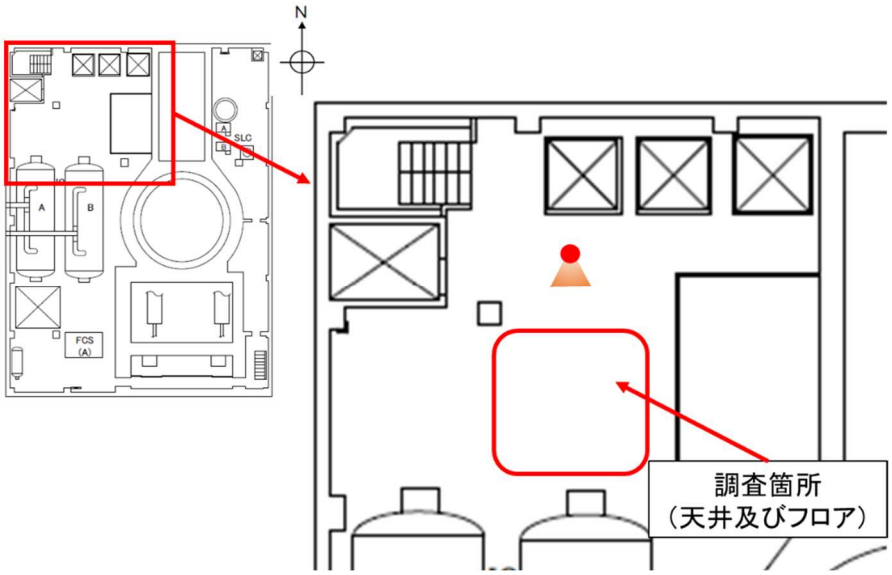



図 27　調査箇所（IC の北側付近の天井）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 28　　IC の北側付近の天井



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

**図 29　IC 北側付近のフロアの状況**



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

**図 30　IC 北側付近のフロア及び IC の状況**

③ IC の北側の壁に近い天井

調査箇所を図 31 に示す。

IC の北側の壁に近い天井には目立った損傷は確認されなかったが、天井のハッチが外れている様子が確認された。（図 32、33）

天井付近の梁には塗装の剥がれや微細なひび割れが確認されたが、曲げ破壊、せん断破壊といった大規模な損傷は確認されなかった。（図 34）

天井付近のダクトは内側から外側に膨張したような変形が確認されたが、ダクトが落下している様子は確認されなかった。（図 35、36）

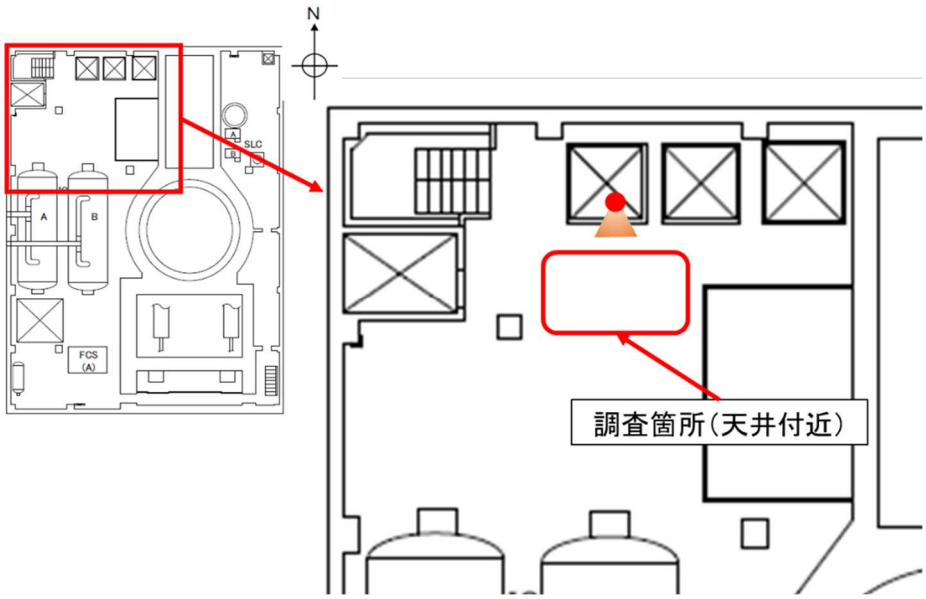
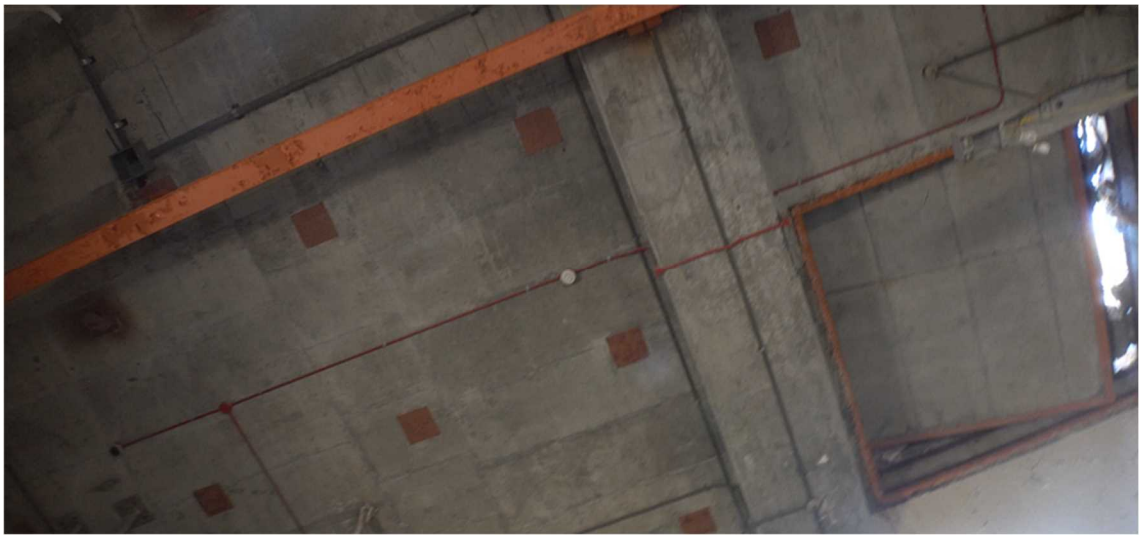



図 31　調査箇所（IC の北側の壁に近い天井）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 32　IC の北側の壁に近い天井



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

**図 33　IC の北側の壁に近い天井（天井のハッチが外れている）**



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

**図 34　IC の北側の壁に近い天井付近の梁**

④ IC の北側の天井付近のダクト等

調査箇所を図 35 に示す。

天井付近のダクトは内側から外側に膨張したような変形が確認されたが、ダクトが落下している様子は確認されなかった。（図 36、37）

また、IC の北側のフロアにある資機材や構造物は、何らかの外力による損傷や潰れなどは確認されなかった。（図 38）

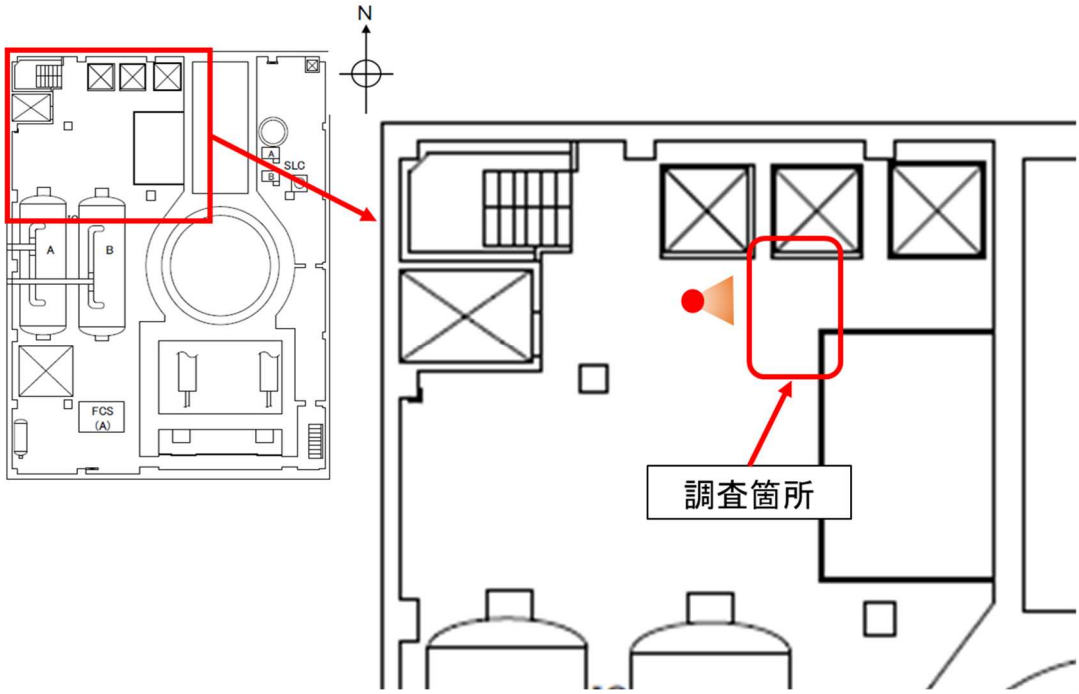



図 35　調査箇所（IC の北側の天井付近のダクト等）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 36　天井付近のダクト及び梁



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

**図 37　天井付近のダクト（1 号機原子炉建屋 4 階）**



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

**図 38　資機材・構造物の状況**

（２） IC の南側フロア

一部の箇所では線量率が 10mSv/h 近くであったが、ほとんどの箇所では数 mSv/h 程度の線量率であった。

① IC の南側

調査箇所を図 39 に示す。

IC の南側は、保温材が剥がれており、剥がれた保温材はほぼ真下に散乱している様子が確認された。(図 40～43)

また、IC の上部付近の線量率は約 6mSv/h であり、周辺の線量率とほぼ同等であった。

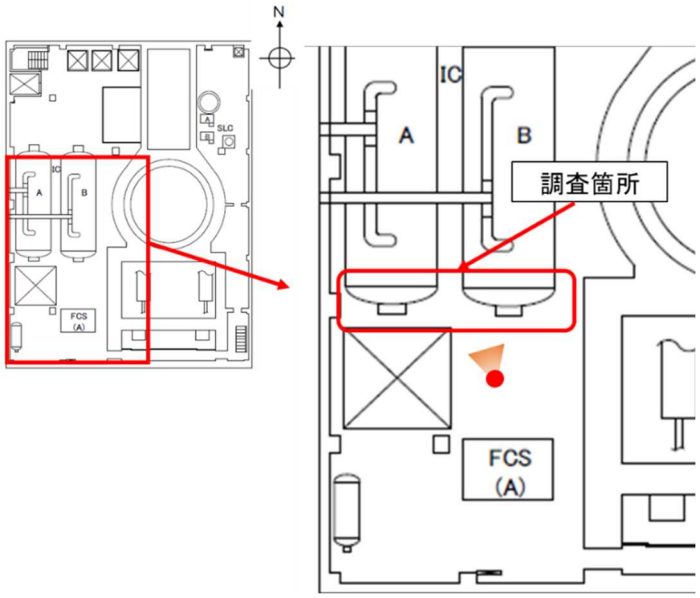



図 39　調査箇所（IC の南側）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 40　IC の南側（左が A 系、右が B 系）（1 号機原子炉建屋 4 階）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 41　IC の南側（左が A 系、右が B 系）（1 号機原子炉建屋 4 階）




2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 42　IC（B 系）の南側及び線量率測定の様子（1 号機原子炉建屋 4 階）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 43　IC（B 系）の南側下部（1 号機原子炉建屋 4 階）

② IC の南側付近の天井

調査箇所を図 44 に示す。

天井の一部に穴が空いている様子が確認された。（図 45）

天井付近の梁は、塗装の剥がれや鉄筋がむき出しになっている様子が確認されたが、大規模な損傷は確認されなかった。（図 46、47）

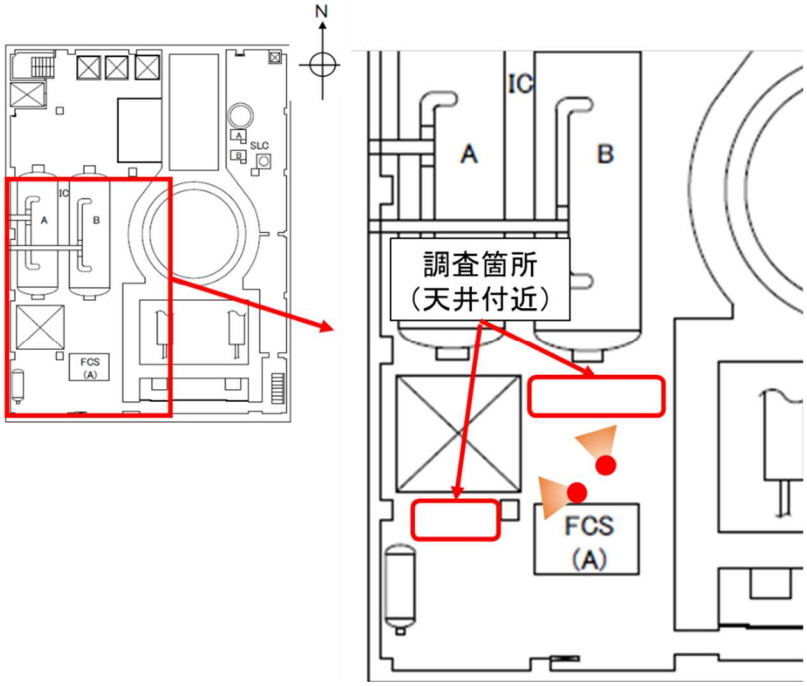



図 44　調査箇所（IC の南側の天井）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 45　IC の南側付近の天井（1 号機原子炉建屋 4 階）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 46　IC の南側付近の梁（1 号機原子炉建屋 4 階）（IC（B 系）の上部）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

**図 47　IC の南側付近の梁（1 号機原子炉建屋 4 階）**
**（IC（A 系と B 系の間）の上部）**

③ IC の A 系と B 系の間

調査箇所を図 48 に示す。

線量率は、最大 10mSv/h 程度であった。

床面にはダクトや資材類が散乱していた。計器類には目立った損傷等は見られなかった。北側には天井から落下したと思われる鉄筋やコンクリートがれきが多数存在していた。（図 49～51）

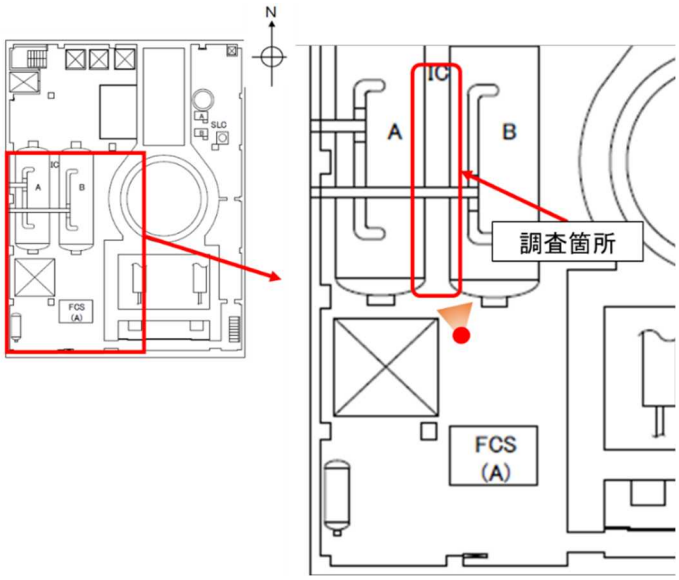
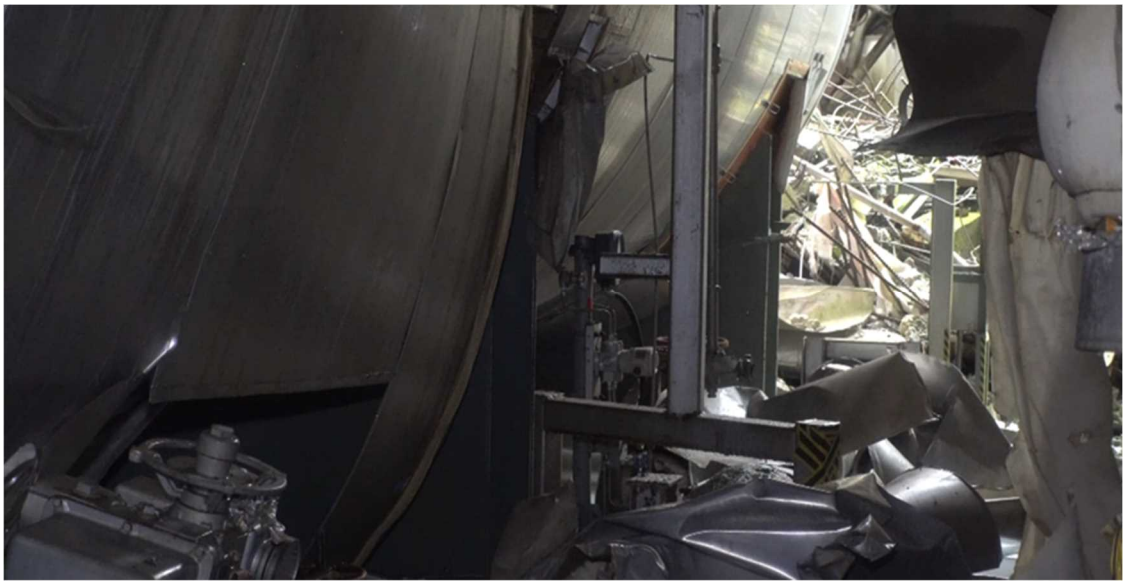



**図 48　調査箇所（IC の南側の天井付近等）**



2022 年 4 月 15 日原子力規制庁撮影

図 49　IC の A 系と B 系の間（1 号機原子炉建屋 4 階）



2022 年 4 月 15 日原子力規制庁撮影

図 50　IC の A 系と B 系の間及び北側（1 号機原子炉建屋 4 階）



2022 年 4 月 15 日原子力規制庁撮影

図 51　IC の A 系と B 系の間の計器類（1 号機原子炉建屋 4 階）

④ ダクト

調査箇所を図 52 に示す。

天井付近のダクトは、何らかの外力による変形が確認された。（図 53、54）

また、一部のダクトはフロアに落下していた。（図 55）

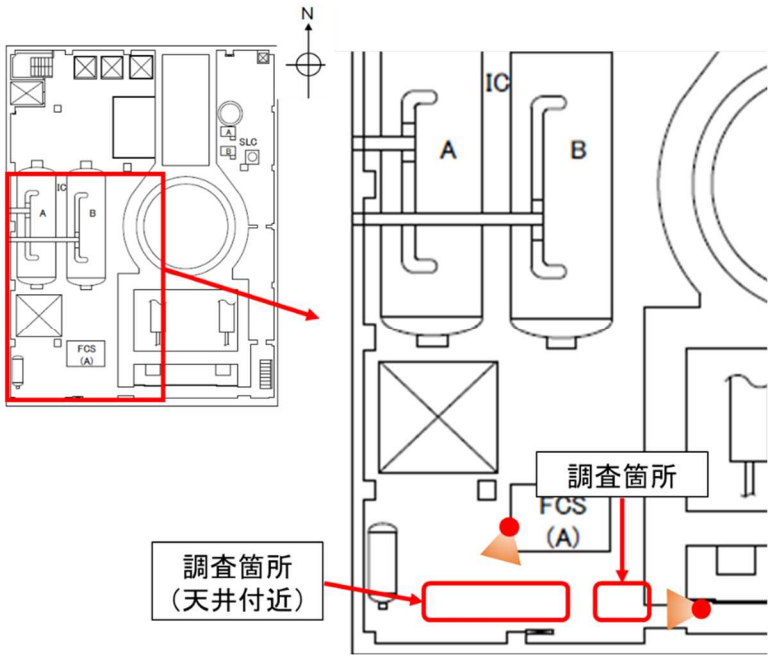



図 52　調査箇所（IC の南側の天井付近等）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 53　天井付近のダクト（1 号機原子炉建屋 4 階）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 54　天井付近のダクト（1 号機原子炉建屋 4 階）



2021 年 11 月 26 日原子力規制庁撮影

図 55　床面付近に落下したダクト（1 号機原子炉建屋 4 階）

（３） 東側フロア

調査箇所を図 56 に示す。

南東側階段付近の不活性ガス（AC）系配管近傍の線量率は 17mSv/h であったが、その他の箇所の線量率は最大 8mSv/h 程度であった。

北東側のフロアでは、ダクトが変形している様子が確認されたが、ほう酸水貯蔵タンク（SLC タンク）等、その他の構造物には目立った損傷等は確認されなかった。（図 57～59）

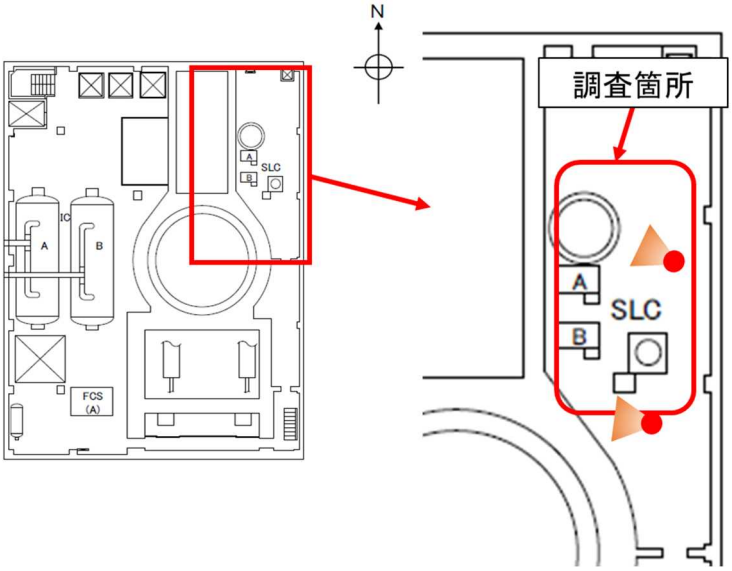



図 56　調査箇所（北東側フロア）



2022 年 4 月 15 日原子力規制庁撮影

図 57　ダクト（北東側フロア）



2022 年 4 月 15 日原子力規制庁撮影

図 58　ダクト（北東側フロア）



2022 年 4 月 15 日原子力規制庁撮影

図 59　SLC タンク（北東側フロア）

## ５．まとめ

今回調査を実施した 1 号機原子炉建屋 3 階及び 4 階について、確認された汚染状況及び損傷状況は以下のとおりであった。

（１） 1 号機原子炉建屋 3 階

- ✓ 東側に位置する部屋（CRD リペア室）ではドアの外れやダクトの損傷が確認されたが、その他の箇所では調査した範囲においては設備の大規模な損傷は確認されなかった。
- ✓ フロア内の線量率は概ね 5mSv/h 以下であったが、IC の接続配管付近は最大で約 48mSv/h の線量率であった。

（２） 1 号機原子炉建屋 4 階

- ✓ 北側フロアでは、ダクトの膨張や天井のハッチの外れなどが確認されたが、梁や資機材の大規模な損傷、IC の保温材の剥がれは確認されなかった。また、フロア内の線量率は、階段付近では数 mSv/h 程度であったが、IC に近づくほど高くなり、最大で 34mSv/h 程度であった。
- ✓ 南側フロアでは、IC の保温材の剥がれ、ダクトの大規模な変形や落下が確認されたが、梁の大規模な損傷は確認されなかった。また、フロア内の線量率は、階段付近の AC 配管付近以外は数 mSv/h 程度であり、IC 上部の線量率はフロアの線量率と同等であった。
- ✓ 南側フロアから、IC の A 系と B 系の間を調査したところ、線量率は最大で 10mSv/h 程度であった。ダクトや資材が多数散乱していたが、計器類の損傷等は確認されなかった。

（別添１４）

# 3 号機原子炉建屋 1 階及び 2 階の予備調査結果

原子力規制庁原子力規制部
東京電力福島第一原子力発電所事故対策室　星　陽崇
原子力規制庁原子力安全人材育成センター
原子炉技術研修課　教官　　上ノ内　久光

## １．現地調査の結果

原子力規制庁は、標題の配管系の汚染分布を把握するため、2017 年 3 月から 2020 年 10 月にかけて複数回の現地調査を実施した[1]。

現地調査では、電離箱[2]や放射線遠隔探知機（テレテクター）（GM 計数管）による周辺線量当量率（以下「線量率」という。）の測定、ピンホール型ガンマカメラ（以下「ガンマカメラ」という。）[3]によるセシウム（Cs）-137 の汚染密度の測定及びスペクトルサーベイメータ[4]による放射線エネルギーの波高分布測定を実施している。測定器の仕様等については既報［1]を参照されたい。

### 3 号機原子炉建屋 1 階

3 号機原子炉建屋 1 階の調査ルート及び空間線量の測定結果を図 1 に示す。南東の二重扉より入域し、建屋南側の通路を西へ進み、西側の通路を北へ向かった。1 階の北東部は高いα汚染の影響で入域できないエリアに設定されており、調査はその手前までとして、折り返した。なお、原子炉格納容器西側のパーソナルエアロック室の調査を試みたが、腐食等の影響で入り口の扉が固着しており、入室できなかった。

---

[1] 参考６参照
[2] 日立アロカメディカル社製電離箱（ICS-323C）
[3] 日立製ガンマカメラ（HDG-E1500）
[4] BNC 社製スペクトルサーベイメータ（SAM940-2L（LaBr 結晶））、
kromek 社製スペクトルサーベイメータ（GR1（CdZnTe 結晶）、RayMon10（CdZnTe 結晶））

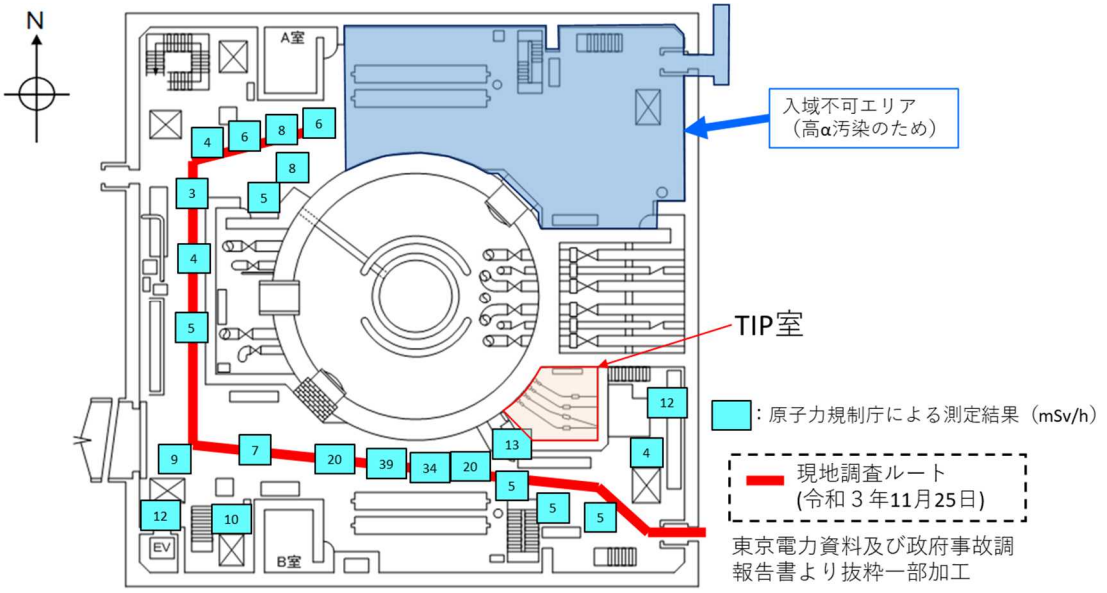



**図 1　調査ルート及び空間線量の測定結果（３号機原子炉建屋１階）**

図 2 に示す A～C の 3 カ所においてガンマカメラを用いて、線量測定を実施した。測定結果を図 3 に示す。①の測定結果は原子炉格納容器北西部を測定したものである。計装ラック周辺が東京電力により既に遮蔽体が設置されており、線量率が低下されていることが分かる。一方、遮蔽体の上部の配管周辺は赤く写っており、高線量の部位が存在することが確認できた。

②の測定結果から、西側の通路では床に残されたがれきの線量が高いものの、床面自体は線量が低く、図 1 に示すように空間線量も低い。一方、③の測定結果から、南側の通路は床面が広く線量が高いことが分かる。図 1 の測定結果から、この通路部は空間線量が高いが、床面からの寄与によるものと考えられる。

④の測定結果では、画像右側の線量が高い。画像の右側には主蒸気隔離弁(MSIV)室があり、当該区画では原子炉格納容器から汚染水が漏洩していることが確認されている。④の測定結果は、壁表面に高い汚染があるのではなく、MSIV 室からの散乱線の寄与が高いと推定される。また、画像から MSIV 室のブローアウトパネルは事故時には作動しなかったことが確認できる。

東京電力の調査によって、３号機原子炉建屋１階にある TIP 室の入り口扉は、通路側から部屋の内部に向かって外れているのが確認されている[引用]。これは、水素爆発時に発生した爆風の影響とみられるが、TIP 室の扉前方の通路等では水素爆発による破損等の痕跡は確認されなかった。TIP 室の扉の前には階段があることから、上層階からの爆風の流れ込み等が影響したものと推定される。また、TIP 室内部も爆発による損傷は確認されなかった。

なお、上記調査の動画は参考 URL [2]において配信されている。

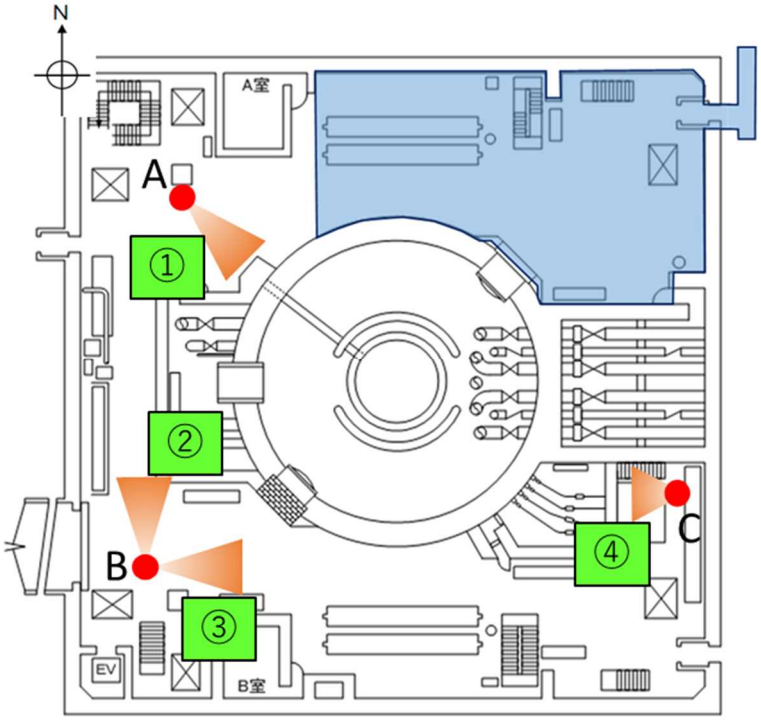



図 2　ガンマカメラによる測定地点（３号機原子炉建屋１階）

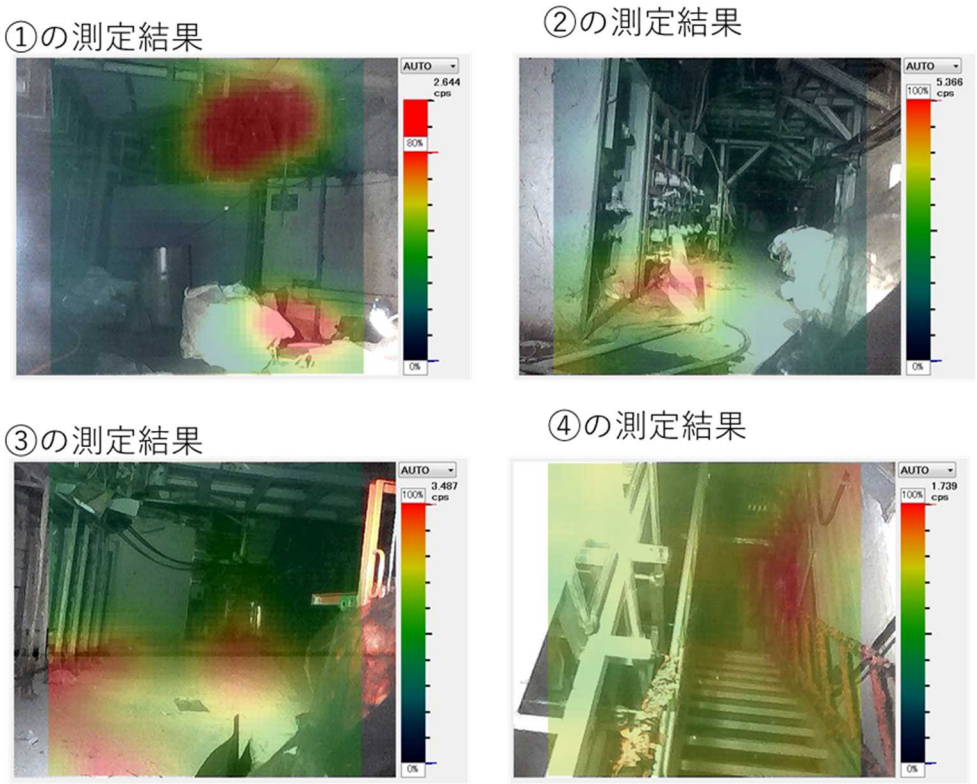



図 3　ガンマカメラによる測定結果（３号機原子炉建屋１階）

（注）ガンマカメラによる測定結果の色付けは、各測定箇所における相対的な強度を示しており、①～④の赤い部分は同一の強度を示すものではない。

### 3 号機原子炉建屋 2 階

3 号機原子炉建屋 2 階の調査ルート及び空間線量の測定結果を図 4 に示す。南東の階段から東側の通路を北へ進み、原子炉建屋北側にある RCW 熱交換器の近傍を通り西へ向かった。西側の通路を南へ向かい原子炉冷却材浄化系(CUW)ポンプ室(A)まで進んだが、CUW ポンプ室(A)より先の南側は、通路床面にがれきが散乱しており、侵入が困難な状況であった。西側の通路を折り返して北へ向かい、残留熱除去系(RHR)熱交換室(A)を経由して南東の階段から退域した。

原子炉格納容器の北側の壁面には、目視では焦げ跡のように見える黒い部位が存在した。当該部位についてはスミア試料を採取した。CUW ポンプ室(A)及び RHR 熱交換器室(A)の入り口扉は、通路側から室内に向けて外れており、水素爆発が影響したと推定される。西側の通路にはダクトとみられる残骸が床面に散乱していたが、配管、壁面等には目立った損傷は確認されなかった。

後日、上記の調査に引き続き、がれきが散乱する西側通路南方の調査を実施した。調査ルート及び空間線量の測定結果を図 5 に示す。大物搬入口近傍まで調査を進めたが、図 6 に示すように、大物搬入口の南東側のフロアにはがれきや構造物が落下しており足場が悪く、侵入することはできなかった。西側通路と同様に、ハッチ付近の配管等についてはさほど損傷がなく、ダクト等の落下が確認された。

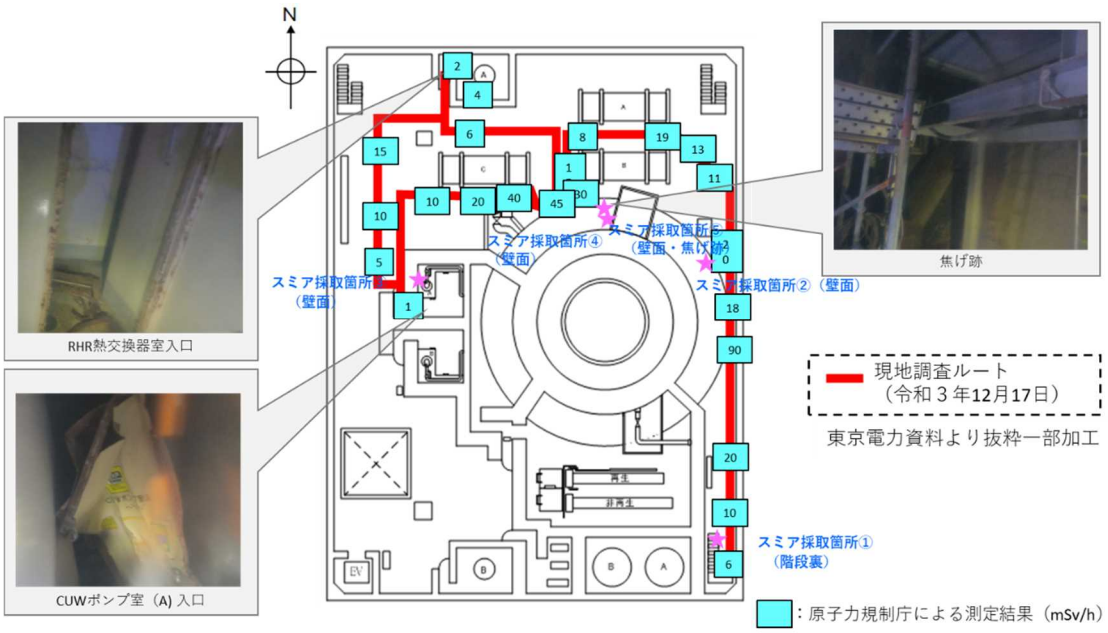



図 4　調査ルート及び空間線量の測定結果①（3 号機原子炉建屋 2 階）

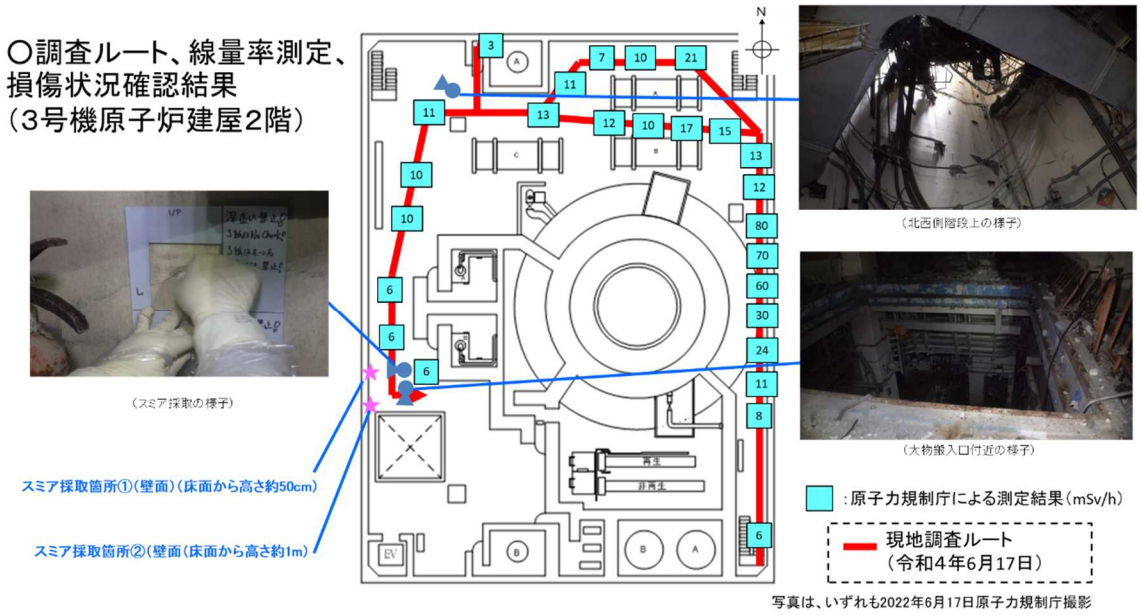



図 5　調査ルート及び空間線量の測定結果②（3 号機原子炉建屋 2 階）

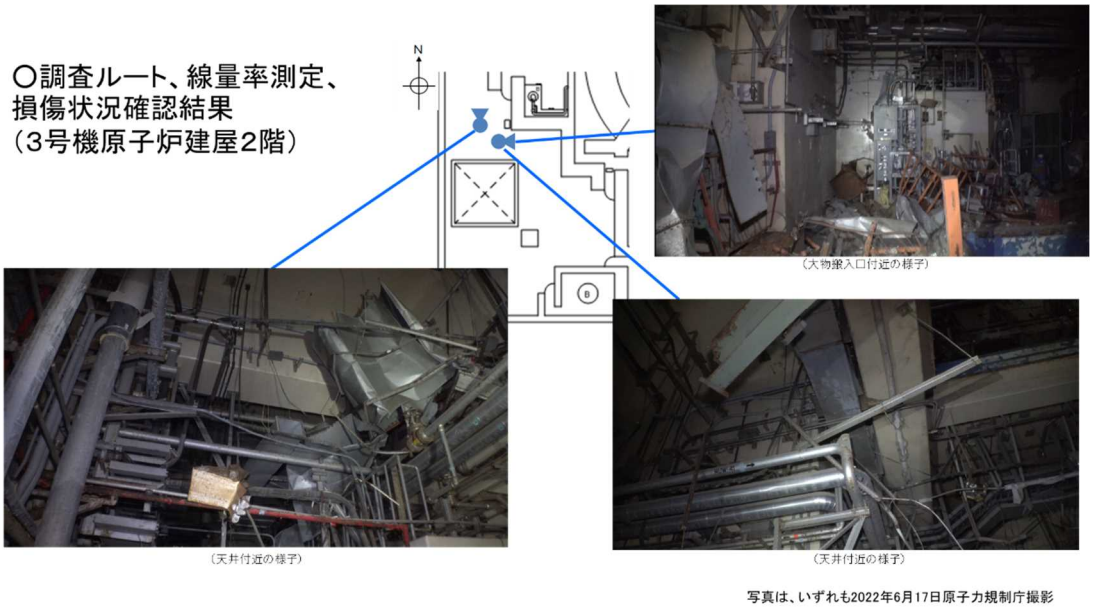



図 6　3 号機原子炉建屋 2 階大物搬入口近傍の様子

## 引用文献

［1］　東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会，〝東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ,〞2021.

［2］　原子力規制庁．（2021，Nov.）資料３－２：3 号機原子炉建屋内の現地調査時

の動画（令和3年11月25日原子力規制庁撮影）. [Online]. https://www.youtube.com/watch?v=T3gnTMNeJak

（別添１５）

# 4号機原子炉建屋内のレーザースキャナによる測定結果

原子力規制庁原子力規制部
東京電力福島第一原子力発電所事故対策室　佐藤　雄一

## １．検討目的

原子力規制庁は、原子炉建屋内の損傷状況等をデータ化して損傷箇所の形状や構造物の傾斜等を確認することにより詳細に構造物の損傷状況等を把握するため、また、2021年2月の福島県沖地震及び2022年3月の福島県沖地震による影響の有無等を確認し、現在の原子炉建屋内の状況がこれらの地震による影響を受けているか否かを確認するために、2020年7月以降、有人による入域が可能な原子炉建屋のうち、比較的線量が低く、ある程度の時間にわたり滞在可能である４号機原子炉建屋内の形状測定を３Ｄレーザースキャナにより実施してきた。

## ２．調査方法

4号機原子炉建屋内の2階～4階フロアにて、３Ｄレーザースキャナが設置可能なエリアのうち、各フロアにて天井等の損傷が確認されているエリアについて、2020年7月以降、複数回にわたり３Ｄレーザースキャナによる形状測定を実施した。

## ３．測定に用いる資機材及び測定原理

（１）測定時に用いる資機材

① ３Ｄレーザースキャナ

３Ｄレーザースキャナの外観を図１に示す。

三脚の上部に３Ｄレーザースキャナを設置することにより、３Ｄレーザースキャナが回転し、全方向（３Ｄレーザースキャナの真下付近を除く。）の測定が可能となる。３Ｄレーザースキャナによる測定可能範囲を図２に示す。




スキャナ　　スキャナ
※三脚に設置した状態

図１　３Ｄレーザースキャナの外観

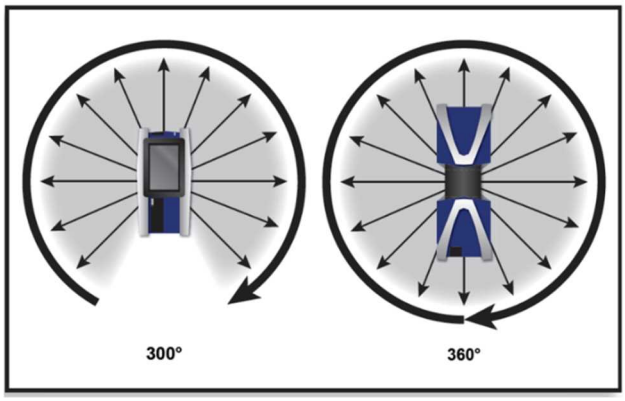



図２　３Ｄレーザースキャナによる測定可能範囲
（左図：鉛直方向、右図：水平方向）

② ターゲット球

３Ｄレーザースキャナによる測定の際に、図３に示すようなターゲット球を３Ｄレーザースキャナの測定範囲に設置することにより、取得データの処理（複数地点からの取得データの合成）を円滑に実施することができる。



図３　ターゲット球の外観

（２）測定原理

３Ｄレーザースキャナの側部から発射される赤外線レーザー光線が３Ｄレーザースキャナの中心にあるレンズ部（図４）に当たり、当該レンズ部が回転することで赤外線レーザー光線が放射される。その赤外線レーザー光線が測定対象物に当たることにより生じる散乱光が３Ｄレーザースキャナのレンズ部に戻ってくることにより、３Ｄレーザースキャナと測定対象物との位置及び距離情報を取得でき、測定対象物の位置に関するデータを取得することができる。




**図４　３Ｄレーザースキャナのレンズ部**

３Ｄレーザースキャナにより取得したデータは、点群データ処理ソフト（FARO 社製「SCENE」）により３Ｄモデルを構築した上で、点群データ解析ソフト（富士テクニカルリサーチ社製「Galaxy-Eye Modeler」）により、異なる時期に取得した同地点におけるデータの比較等を実施した。

## ４．定点測定の実施

2021 年 2 月の福島県沖地震及び 2022 年 3 月の福島県沖地震による影響の有無等を確認するため、4 号機原子炉建屋 3 階及び 4 階にターゲット球を長期間設置し、当該箇所に対する３Ｄレーザースキャナによる測定を実施した。

4 号機原子炉建屋 3 階のターゲット球の設置位置及び状況を図５に、同建屋 4 階のターゲット球の設置位置及び状況を図６に示す。

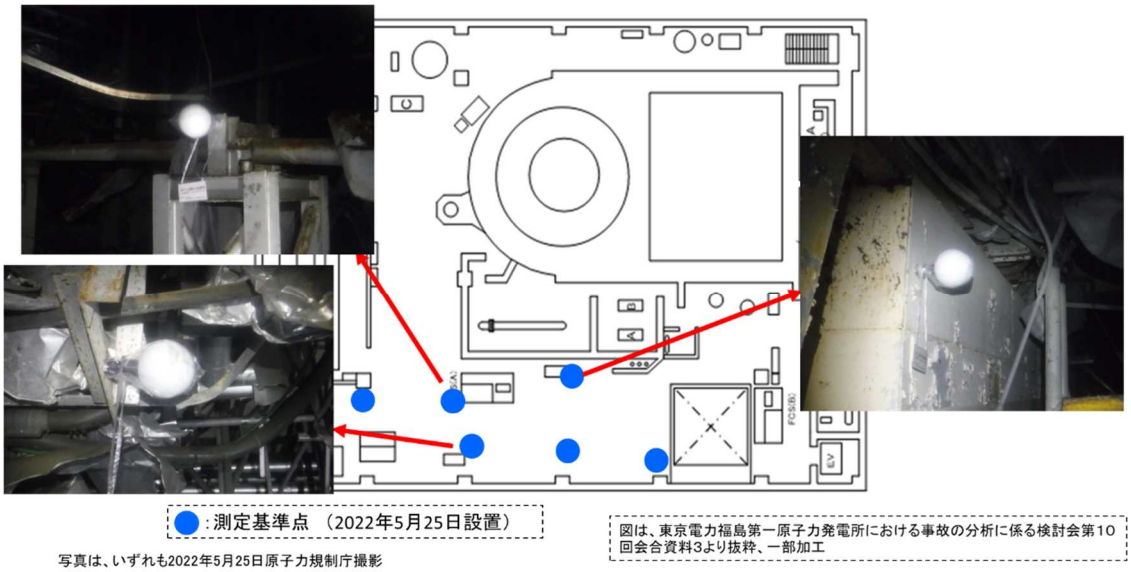



図５　４号機原子炉建屋３階のターゲット球の設置位置及び状況

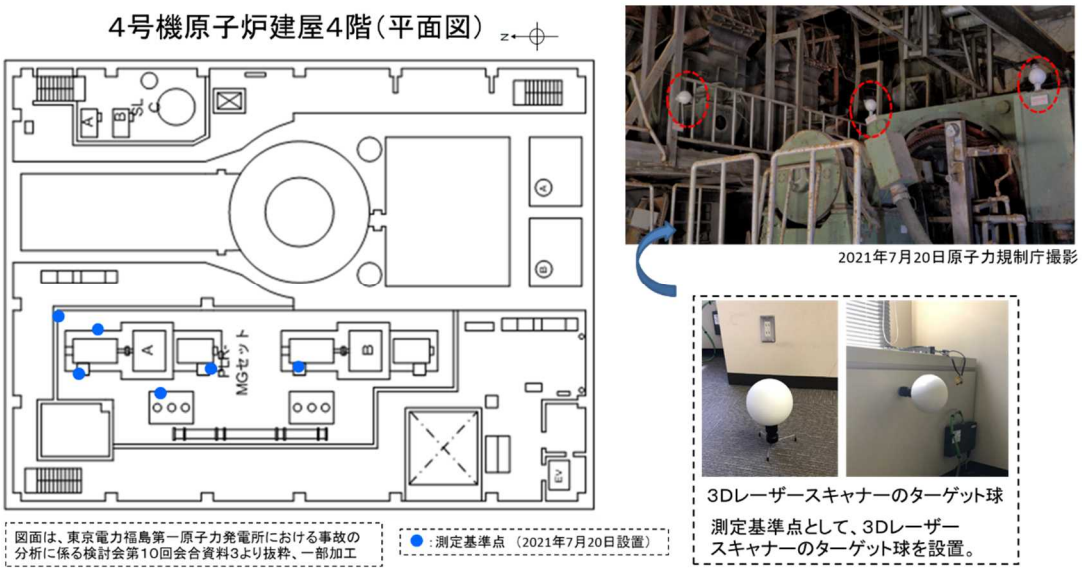



図６　４号機原子炉建屋４階のターゲット球の設置位置及び状況

## ５．４号機原子炉建屋３階の測定・分析結果

４号機原子炉建屋３階は、床面の落ち込みが確認されている南西側ハッチ付近及び床面の一部が抜けている北西側フロアについて、測定結果を分析した。

（１）南西側ハッチ付近

2020 年 8 月と 2022 年 5 月に取得した画像の比較を図７に、点群データの比較を図８に示す。

図７に示すように、梁の塗装の剥がれ部分がほぼ同様であること、壁面の状況がほぼ同様であることなどから、当該箇所は写真で見る限り大きな変化は見られなかった。

一方、図８に示すように点群データで比較すると、一部の構造物については位置ずれが見られる（図８の緑点線囲い部分）。しかしながら、床面や壁面には変化が見られなかった。

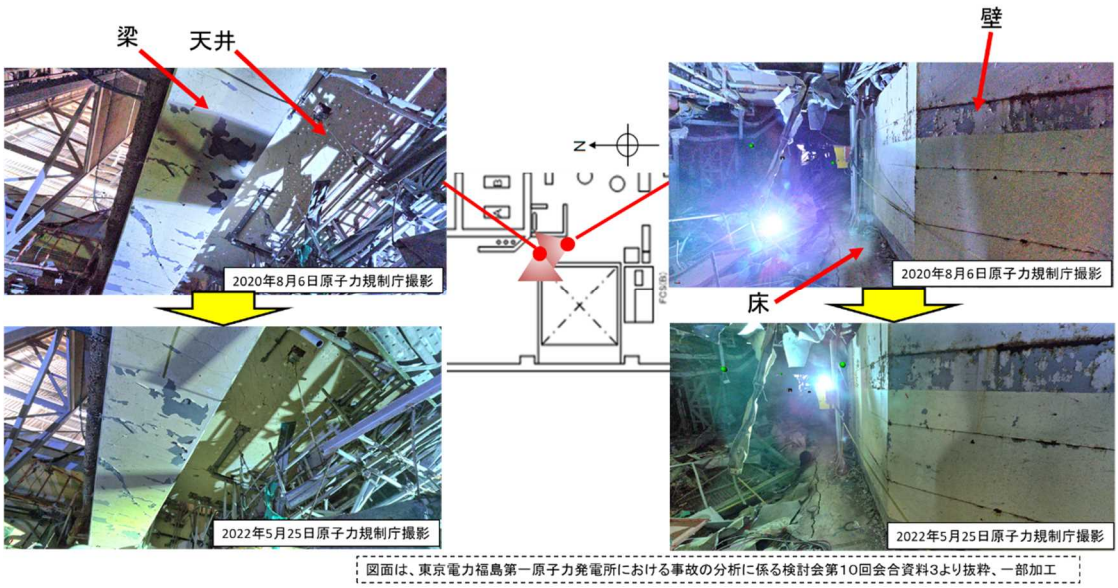



図７　４号機原子炉建屋３階の状況（南西側ハッチ付近）
（2020 年と 2022 年との写真による比較）

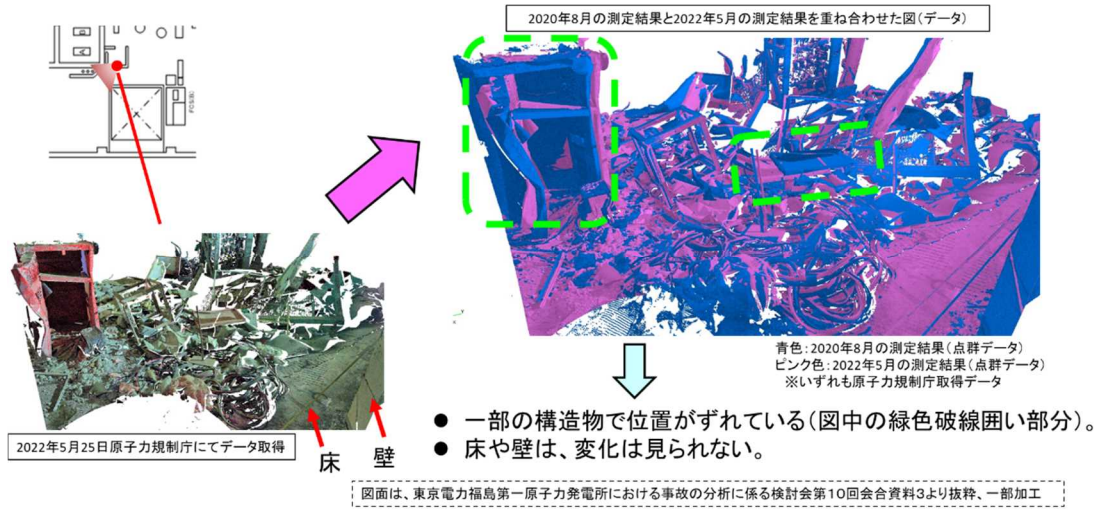



図８　４号機原子炉建屋３階の状況（南西側ハッチ付近）
（2020 年と 2022 年とのデータの重ね合わせによる比較）

（２）北西側フロア

2020 年８月と 2022 年５月に取得した画像の比較を図９に示す。

床面の一部が抜けているエリア（図９の右側の写真）及びＣＲＤリペア室付近（図９の左側の写真）ともに、明確な違いは確認されなかった。

2020 年８月と 2022 年５月に取得した点群データの比較を図１０に示す。

天井付近の梁、垂れ下がった構造物等の位置の変化の有無等を確認した結果、いずれも位置の変化等は見られなかった。

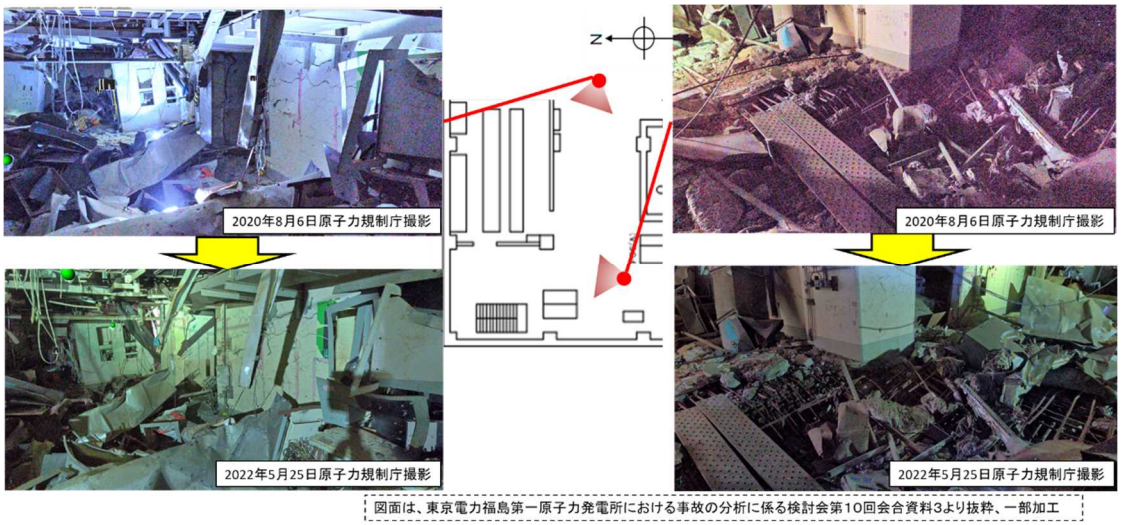



図９　４号機原子炉建屋３階の状況（北西側フロア）
（2020 年と 2022 年との写真による比較）

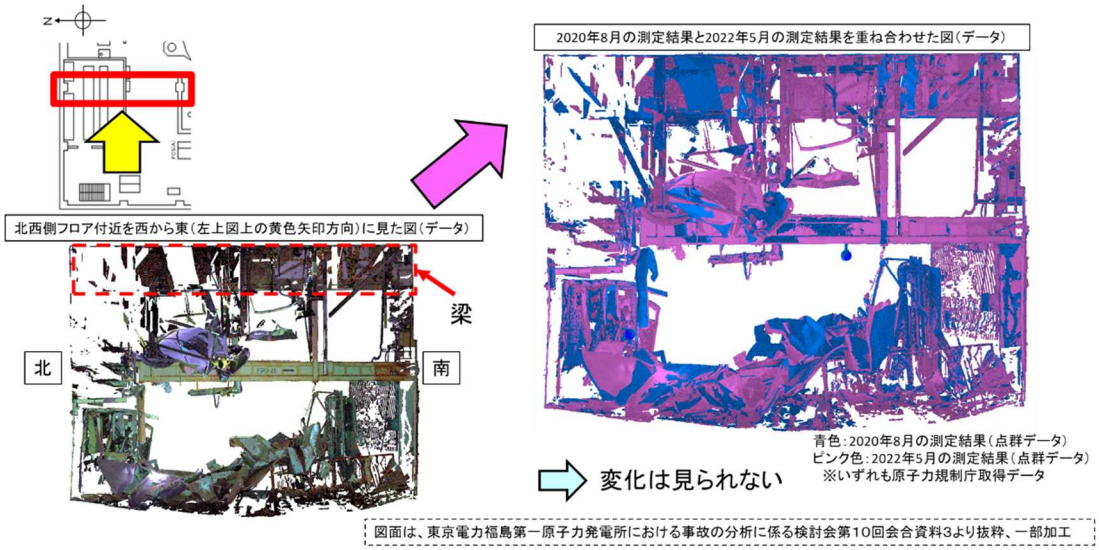



図１０　４号機原子炉建屋３階の状況（北西側フロア）
（2020 年と 2022 年とのデータの重ね合わせによる比較）

## ６．４号機原子炉建屋４階の測定・分析結果

４号機原子炉建屋４階は、通常位置から下方変形している北西側フロアの天井及びその付近について、測定結果を分析した。

2020 年７月と 2022 年５月に取得した北西側フロアの天井付近の画像及び天井の点群データの比較を図１１に示す。

天井付近の画像（図１１の左側）及び点群データ（図１１の右側）ともに明確な違いは確認されなかった。

2020 年７月と 2022 年５月に取得した北西側フロアの梁及び天井の点群データの比較を図１２に示す。

図１２の下部の図に示すように、梁及び天井ともに 2020 年７月の点群データと 2022 年５月の点群データが重なっており、この期間では変化がなかったことが確認された。

2020 年７月と 2022 年５月に取得した北西側フロアの点群データの比較を図１３に示す。

図１３に示すように、壁やフロア内の構造物について 2020 年 ７ 月の点群データと 2022 年 ５ 月の点群データが重なっており、この期間では変化がなかったことが確認された。

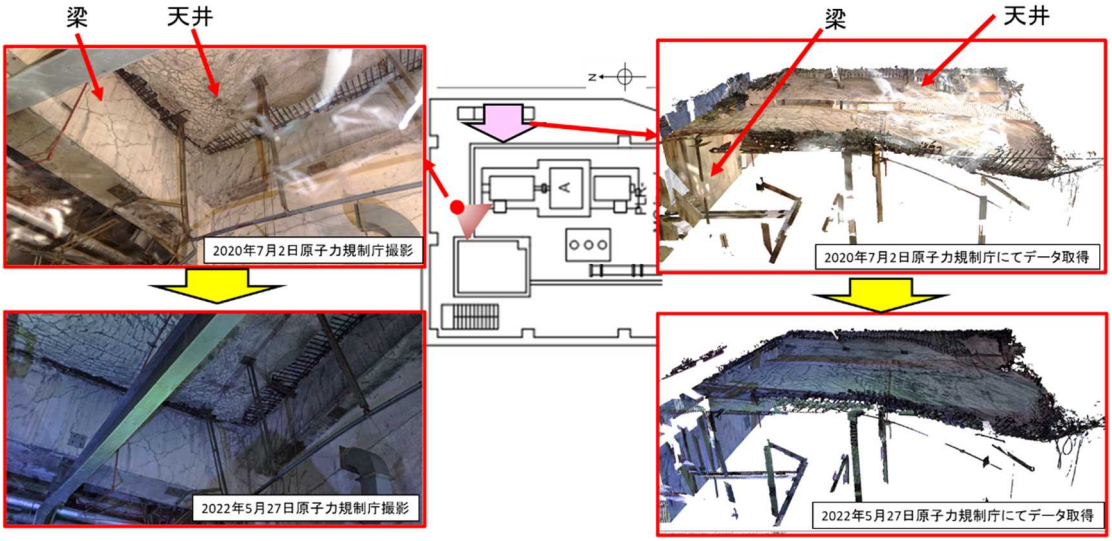



図１１　４号機原子炉建屋４階の状況（北西側天井付近）
（2020 年と 2022 年との比較）

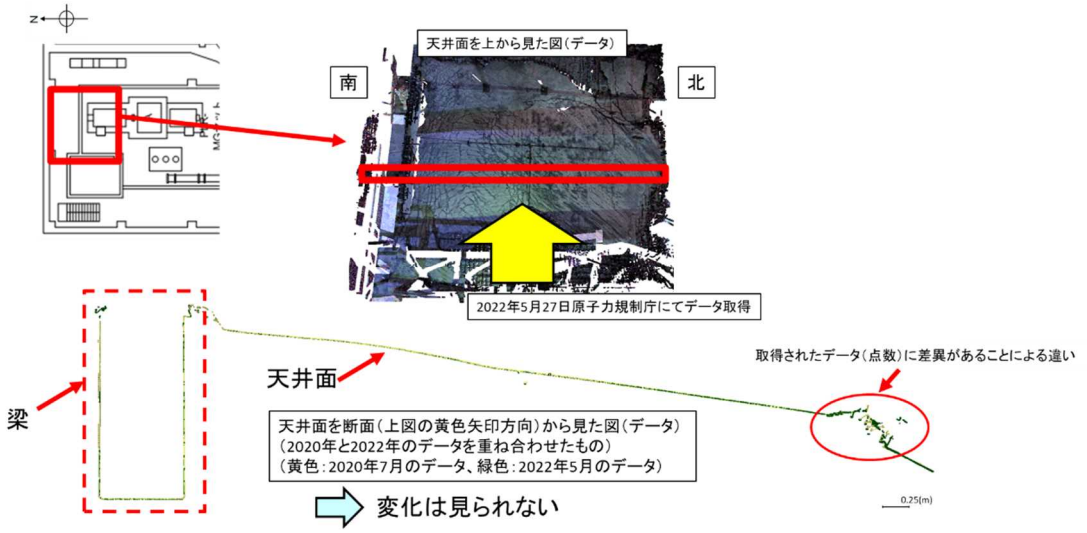



図１２　４号機原子炉建屋４階の状況（北西側天井付近）
（2020 年と 2022 年とのデータの重ね合わせによる比較）

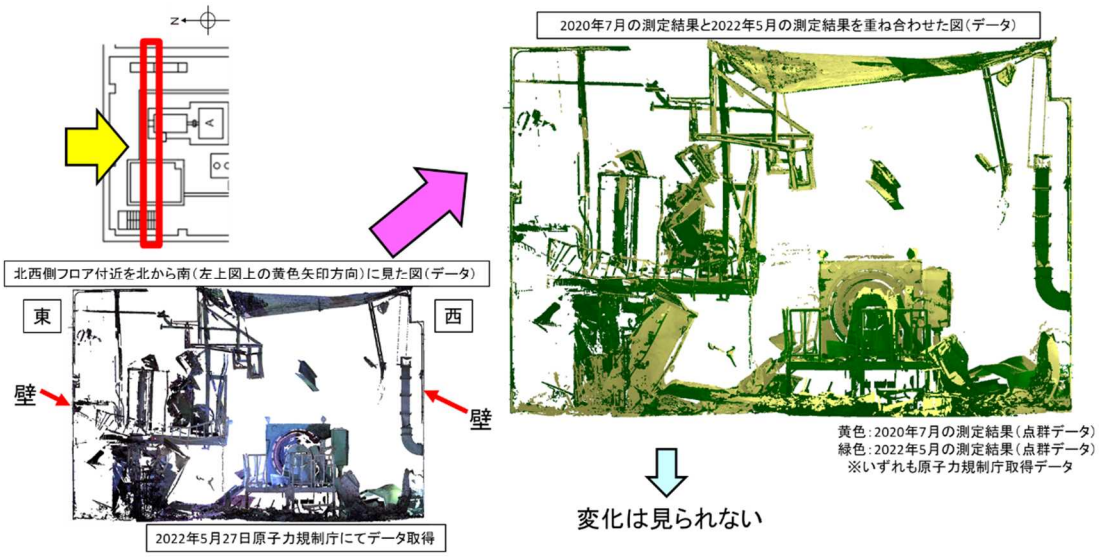



図１３　４号機原子炉建屋４階の状況（北西側フロア）
（2020 年と 2022 年とのデータの重ね合わせによる比較）

## ７．まとめ

５．及び６．で示したように、4 号機原子炉建屋 3 階及び 4 階では、2020 年と 2022 年の間で一部の構造物に位置のずれが確認されたが、壁、床、天井、梁といった建屋を構成する部材等には変化は確認されなかった。

このため、2021 年 2 月の福島県沖地震及び 2022 年 3 月の福島県沖地震による影響はほとんどないと考えられ、また、2020 年以降、経年による変化はほとんどなかったと考

えられる。

## ８．今後の検討事項

定点測定については、4 号機原子炉建屋 2 階の天井付近の梁の損傷が確認されている南西側の天井付近でも実施する予定であり、図１４に示すようにターゲット球を設置している。

今回、測定・分析を実施した 4 号機原子炉建屋 3 階及び 4 階も含めて、ターゲット球の設置を継続し、定期的に測定を実施することで、経年による変化の有無、測定時点の形状の要因等の推定に資することとしたい。

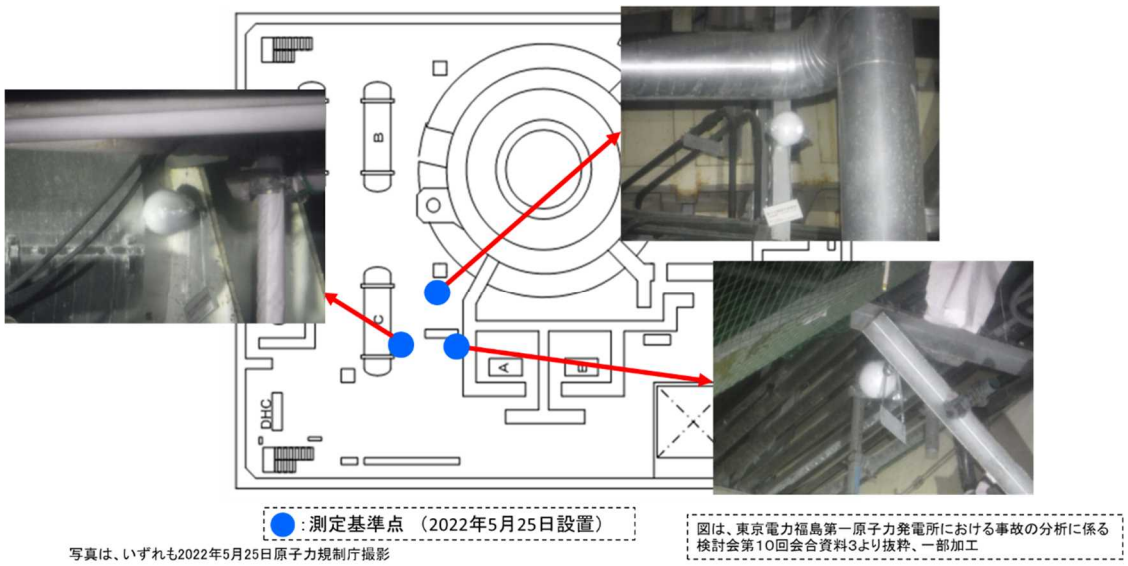



図１４　4 号機原子炉建屋 2 階のターゲット球の設置位置及び状況

（別添１６）

# 2 号機原子炉建屋スミヤ試料等の分析

日本原子力研究開発機構　安全研究・防災支援部門
規制・国際情報分析室
福島第一原子力発電所事故分析チーム
飯田　芳久、島田　亜佐子、垣内　一雄

## １．　スミヤ試料の分析

原子力規制庁による 2 号機原子炉建屋内調査[1]並びに東京電力による 3 号機 SGTS 室調査[2]及び 1/2 号機排気筒内部調査[3]において、2 号機原子炉建屋各階の壁、床、階段裏のスミヤ試料（14 試料）、3 号機 SGTS フィルタトレイン内のフィルタ表面のスミヤ試料（23 試料）及び 1/2 号機 SGTS 配管内部のスミヤ試料（１試料）が採取されている。これらは、原子炉建屋内及び SGTS 配管系における放射性物質の移行経路、組成及び化学形の推定に有用な情報を有していると考えられることから、スミヤ試料の分析を実施した。

## ２．試料分析の結果

原子炉建屋の壁や床に沈着した放射性物質の量は、各号機の格納容器から放出され、原子炉建屋に残存する量の大小関係を把握する際の参考情報になり得る。ここでは、表 1 及び図 1 に示す 2 号機原子炉建屋の局所領域から採取したスミヤ試料の分析結果を中心に述べる。1 号機及び 3 号機原子炉建屋のスミヤ試料が得られた後には、それらの分析を行い、3 つの号機について比較・検討を行う予定である。2 号機原子炉建屋のスミヤ試料に加えて、表 2、表 3、図 2 及び図 3 に示す 3 号機 SGTS フィルタトレインのフィルタ表面スミヤ試料及び 1/2 号機共用 SGTS 配管内部スミヤ試料の分析結果についても報告する。なお、これら試料の分析は図 4 に示すフローで実施した。

2 号機原子炉建屋スミヤ試料の写真及びイメージングプレート像を図 5 に例示する。各スミヤ試料に対して実施したイメージングプレートによる放射能分布が、目視で観察できる汚れの分布と概ね一致することを確認した。全てのスミヤ試料を対象としたガンマ線核種分析において、Cs-134、Cs-137、Sb-125、Co-60 が検出された。ガンマ線核種分析結果の一例を図 6 に、ガンマ線核種分析の結果に基づいた Cs-134、Sb-125 及び Co-60 のモル量と Cs-137 のモル量の相関を図 7 に示す。この

[1] 東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会　第 14 回　資料 3
[2] 東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会　第 16 回　資料 4-1
[3] 東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会　第 12 回　資料 6-1

図には、以前実施した 1/2 号機共用スタック基部ドレンサンプピット溜まり水の分析結果[4]（溜まり水試料をろ紙に滴下して分析）を加えている。2 号機のベントは失敗したと言われていることから、本試料及び上述の 1/2 号機共用 SGTS 配管内部スミヤ試料には、1 号機から放出された核種のみが存在していると推定される。

いずれの試料においても、Cs-134 と Cs-137 のモル比が ORIGEN2 コード[5]により計算した初期インベントリのモル比とほぼ一致することを確認した（図 7）。Sb-125 についても、ばらつきはあるものの、1 号機（1/2 号機共用 SGTS 配管内部及び 1/2 号機共用スタック基部ドレンサンプピット溜まり水）、2 号機（原子炉建屋）及び 3 号機（SGTS フィルタトレイン）の全てにおいて、Cs-137 とのモル比が両核種の初期インベントリのモル比と同程度であった。この結果は、Sb-125 の初期インベントリに対する放出割合が事故シナリオに強く依存せず、Cs-137 のそれと同程度（モル量に換算すると 1/100 程度）であることを示唆している。

優先度の高い 2 号機原子炉建屋スミヤ 4 試料、3 号機 SGTS フィルタトレインのフィルタ表面スミヤ 2 試料及び 1/2 号機共用 SGTS 配管内部スミヤ試料、合計 7 試料について酸溶解を行い、ガンマ線分析、ベータ線分析、アルファ線分析及び質量分析を実施して Cs-134、Cs-137、Tc-99、Mo 同位体、Sr-90、U 同位体、Pu 同位体及び Am-241 を定量した。Tc-99、Mo 同位体及び Sr-90 のモル量と Cs-137 のモル量の相関を図 8 に示す。なお、初期インベントリのモル比に基づくと、Cs 同位体のモル量は Cs-137 の約 2 倍である。

2 号機原子炉建屋スミヤ試料では、Tc-99 及び Mo 同位体のいずれも有意に検出された。一方、3 号機 SGTS フィルタトレインのフィルタ表面スミヤ試料及び 1/2 号機共用 SGTS 配管内部スミヤ試料では、Tc-99 及び Mo 同位体は分析装置の検出下限以下であった。さらに、1/2 号機共用スタック基部ドレンサンプピット溜まり水試料において、Tc-99 は検出下限以下、Mo 同位体は検出されたものの Cs-137 とのモル比は 2 号機原子炉建屋スミヤ試料に比べて 3 桁程度低い値であった。Sr-90 に関しては、Tc-99 及び Mo 同位体に比してモル量は小さいものの、2 号機原子炉建屋スミヤ試料の分析結果は、1 号機及び 3 号機由来の試料に比べ高い値を示している。

これらの核種の中で、Cs は酸化性雰囲気（水蒸気リッチ）及び還元性雰囲気（水素リッチ）いずれの条件においても燃料から放出され易い。Mo 及び Tc は酸化物の形態になると金属に比べて揮発性が増すため、酸化性雰囲気条件において放出され易く、Sr-90 は酸化性雰囲気よりも還元性雰囲気条件下において放出され易くなる性質を有している。そのため、Tc、Mo 及び Sr は、炉心損傷・溶融進展時の雰囲気条件を推定する上で指標的な核種になり得る。

Tc-99 及び Mo 同位体の分析結果に基づくと、2 号機における炉心損傷・溶融の進

[4] 東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会　第 21 回　資料 4-1
[5] JAEA-Data-Code-2012-018

展では、1 号機及び 3 号機に比べて、酸化性雰囲気の影響が相対的に大きかった可能性が高い。一方、Sr-90 の分析結果は、2 号機の炉心損傷・溶融進展過程で還元性雰囲気条件が形成された可能性を示唆している。2 号機においては、原子炉冷却系の減圧による炉心水位の急激な低下やその後の原子炉容器への注水により、炉心損傷・溶融の進展過程で雰囲気条件が大きく変化した可能性がある。雰囲気条件の変化以外にも、溶融炉心／コンクリート相互作用（MCCI）による Sr-90 の放出や Sr-90 が溶け込んだ水相から（Sr は金属、酸化物ともに水に溶け易い）微小な水滴が放出された可能性が考えられる。

核種の化学形はソースターム評価上重要な情報であるが、現状の分析からは断定できない。しかしながら、2 号機原子炉建屋スミヤ試料分析の結果が、2 号機の炉心損傷・溶融進展の期間において酸化性雰囲気条件が形成され、Cs と反応し易い性質を有する Mo が燃料から多量に放出されたことを示していると考えるならば、Cs の主要な化学形は、モリブデン酸セシウム系（$Cs_2MoO_4$ 等）である可能性が高い。また、Cs と反応していない余剰の Mo 同位体の化学形はモリブデン酸や酸化モリブデンであったと推定される。

2 号機の分析結果におけるもう一つの特徴は、Cs-137 に対する Tc-99 及び Mo 同位体のモル比が、原子炉建屋 5 階（5FF 及び 5FW）において 4 階（4FF）及び 1 階（1FF）よりも高いことである（図 8 において、直線からの上下方向のずれで示される）。2 号機原子炉建屋 5 階における Mo 同位体と Cs-137 のモル比は、東京電力 HD が実施した同 5 階養生シートの分析結果[6]と同程度であった。この傾向は、アルファ線放出核種（U 同位体、Pu 同位体及び Am-241）でも見られている（図 9）。2 号機原子炉建屋のスミヤ試料については、いずれのアルファ線放出核種も初期インベントリに対する放出割合は非常に小さいものの、Tc-99 及び Mo 同位体と同様に、Cs-137 とのモル比が下層階に比べて 5 階において高いこと、U 同位体と Cs-137 の相関については東京電力 HD の分析結果[6]と概ね整合することが示された。また、U の存在形態として、5 階壁面スミヤ試料の SEM 分析において、粒径 1μm 程度の U 含有微小粒子が観察されている（図 10）。このような 5 階と下層階の差異は、核種の化学形態や物理形態、各階への放出が生じた時間帯や経路が影響していると推定できるが、今後、2 階及び 3 階から採取したスミヤ試料の分析を行い、さらに検討を進める予定である。

3 号機 SGTS フィルタトレインのフィルタ表面スミヤ試料に関するガンマ線分析結果を、上流側（原子炉建屋側）面及び下流側（スタック側）面に分けて図 11 に示す。表面の平滑度がフィルタによって異なるため、スミヤによる拭き取り効率にばらつきがあると予想されるが、上流側面における Cs-134 及び Cs-137 の結果を見

[6] 東京電力 HD「1～3 号機原子炉格納容器内部調査関連サンプル等の分析結果」特定原子力施設監視・評価検討会（第 62 回）資料 3-2

ると、最上流側フィルタ⑥と最下流側フィルタ①の値が高い傾向が示された。この傾向は、順流方向（原子炉建屋側からスタック側）に加えて、格納容器ベント作動時に放射性物質を含むベント気体がフィルタトレインに逆流したことを示唆していると考えられる。

## ３．試料分析の目的及び手法

号機間における核種組成に影響を及ぼす温度や雰囲気といった条件の違い（すなわち事故進展過程の違い）等を推定することを目的とし、スミヤ試料の分析を実施した。特に、事故進展過程における原子炉容器内の雰囲気に依存し得る Cs の化学形、MCCI 等による中・難揮発性の放射性物質の放出に着目し、Cs-134、Cs-137、Sr-90、Mo 同位体、Tc-99 及びアルファ線放出核種を主な分析対象核種とした。分析フローを図 4 に示す。

### （１）スミヤ試料の分析手法

各スミヤ試料についてイメージングプレートによる汚染分布の確認及び Ge 半導体検出器を用いたガンマ線核種分析を実施した。また、核種組成について情報を得るため、SEM/EDS 装置を用いた観察及び元素分析を実施した。

### （２）酸分解後スミヤ試料の分析手法

Sr-90、Tc-99、Mo 同位体（Mo-92, 94, 95, 96, 97, 98, 100）、U 同位体（U-235, 236, 238）、Pu 同位体（Pu-238, 239, 240）及び Am-241 については、スミヤ試料の一部を酸分解して溶解した後、溶液分析を実施して定量した。核種移行経路の推定を検討する上で優先度の高い試料として、以下の 7 試料を選定した。

① U2RB-5FW：トップヘッドフランジからの核種放出を考慮
② U2RB-5FF：トップヘッドフランジからの核種放出を考慮
③ U2RB-1FF：1 階格納容器貫通部等からの核種放出を考慮
④ U2RB-4FF：上記試料との比較
⑤ U3SGF-B6-1：SGTS フィルタトレインの最上流
⑥ U3SGF-B1-1：SGTS フィルタトレインの最下流
⑦ U12SGS：SGTS 配管内部

これらのスミヤ試料を 450℃で 30 分間加熱して灰化した後、硝酸及び過酸化水素水により溶解し、溶液中の核種分析を行った。Sr-90 については、Cs を除去した試料溶液から Sr レジンを用いて分離・精製し、Sr-90 と Y-90 の放射平衡が成立した後、液体シンチレーションカウンタにより濃度を測定した。Tc-99 については、Cs を除去した試料溶液から TEVA レジンを用いて分離・精製後、液体シンチレーションカウンタで濃度を測定した。Mo 同位体については、試料溶液から TEVA レジンを

用いて分離・精製後、誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS）で濃度を測定した。なお、スミヤ試料には原子炉由来の Mo に加え、天然由来の Mo が含まれていることが想定されたため、U-235 の核分裂ではほとんど生成しない Mo-92 を天然起源であると考え、その測定濃度及び天然同位体比から算出した各 Mo 同位体濃度を測定値から差し引くことにより、原子炉由来の Mo 同位体濃度を求めた。U 同位体については、試料溶液から UTEVA レジンを用いて分離・精製後、ICP-MS で濃度を測定した。Pu 同位体及び Am-241 については、試料溶液から TRU レジンを用いて分離・精製後、アルファ線検出器で濃度を測定した。加えて、酸分解及び溶解プロセスにおける収率を確認するため、Cs-137 濃度を Ge 半導体検出器を用いたガンマ線分析により測定した。

表１　2 号機原子炉建屋各階の壁、床、階段裏のスミヤ試料

| 試料番号 | 採取場所 |
|---|---|
| U2RB-5FW | 5階壁面 |
| U2RB-5FF | 5階床面 |
| U2RB-4FW | 4階壁面 |
| U2RB-4FF | 4階床面 |
| U2RB-4FS | 4階階段裏面 |
| U2RB-3FW | 3階壁面 |
| U2RB-3FF | 3階床面 |
| U2RB-3FS | 3階階段裏面 |
| U2RB-2FW | 2階壁面 |
| U2RB-2FF | 2階床面 |
| U2RB-2FS | 2階階段裏面 |
| U2RB-1FW | 1階壁面 |
| U2RB-1FF | 1階床面 |
| U2RB-1FS | 1階階段裏面 |

表２　3 号機 SGTS フィルタトレイン内のフィルタ表面のスミヤ試料

| 試料番号 | 採取場所（SGTS　A系） | 試料番号 | 採取場所（SGTS　B系） |
|---|---|---|---|
| U3SGF-A1-1 | 高性能フィルター上流　①-1 | U3SGF-B1-1 | 高性能フィルター上流　①-1 |
| U3SGF-A2-1 | チャコールフィルター最上段上流　②-1 | U3SGF-B2-1 | チャコールフィルター最上段上流　②-1 |
| U3SGF-A2-2 | チャコールフィルター最上段下流　②-2 | U3SGF-B2-2 | チャコールフィルター最上段下流　②-2 |
| U3SGF-A2-3 | チャコールフィルター最下段上流　②-3 | U3SGF-B2-3 | チャコールフィルター最下段上流　②-3 |
| U3SGF-A2-4 | チャコールフィルター最下段下流　②-4 | U3SGF-B2-4 | チャコールフィルター最下段下流　②-4 |
| U3SGF-A3-1 | 高性能フィルター上流　③-1 | U3SGF-B3-1 | 高性能フィルター上流　③-1 |
| U3SGF-A4-1 | プレフィルター上流　④-1 | U3SGF-B4-1 | プレフィルター上流　④-1 |
| U3SGF-A4-2 | プレフィルター下流　④-2 | U3SGF-B4-1 | プレフィルター下流　④-2 |
| | | U3SGF-B5-1 | トレインヒーター機器表面　⑤ |
| U3SGF-A6-1 | デミスター上流　⑥-1 | U3SGF-B6-1 | デミスター上流　⑥-1 |
| U3SGF-A6-2 | デミスター下流　⑥-2 | U3SGF-B6-2 | デミスター下流　⑥-2 |
| | | U3SGF-B7 | チャコールフィルター表面　② |
| | | U3SGF-B8 | プレフィルター表面　④ |

表３　1/2 号機 SGTS 配管内部のスミヤ試料（１試料）

| 試料番号 | 採取場所 |
|---|---|
| U12SGS | 1/2号機SGTS配管内部 |

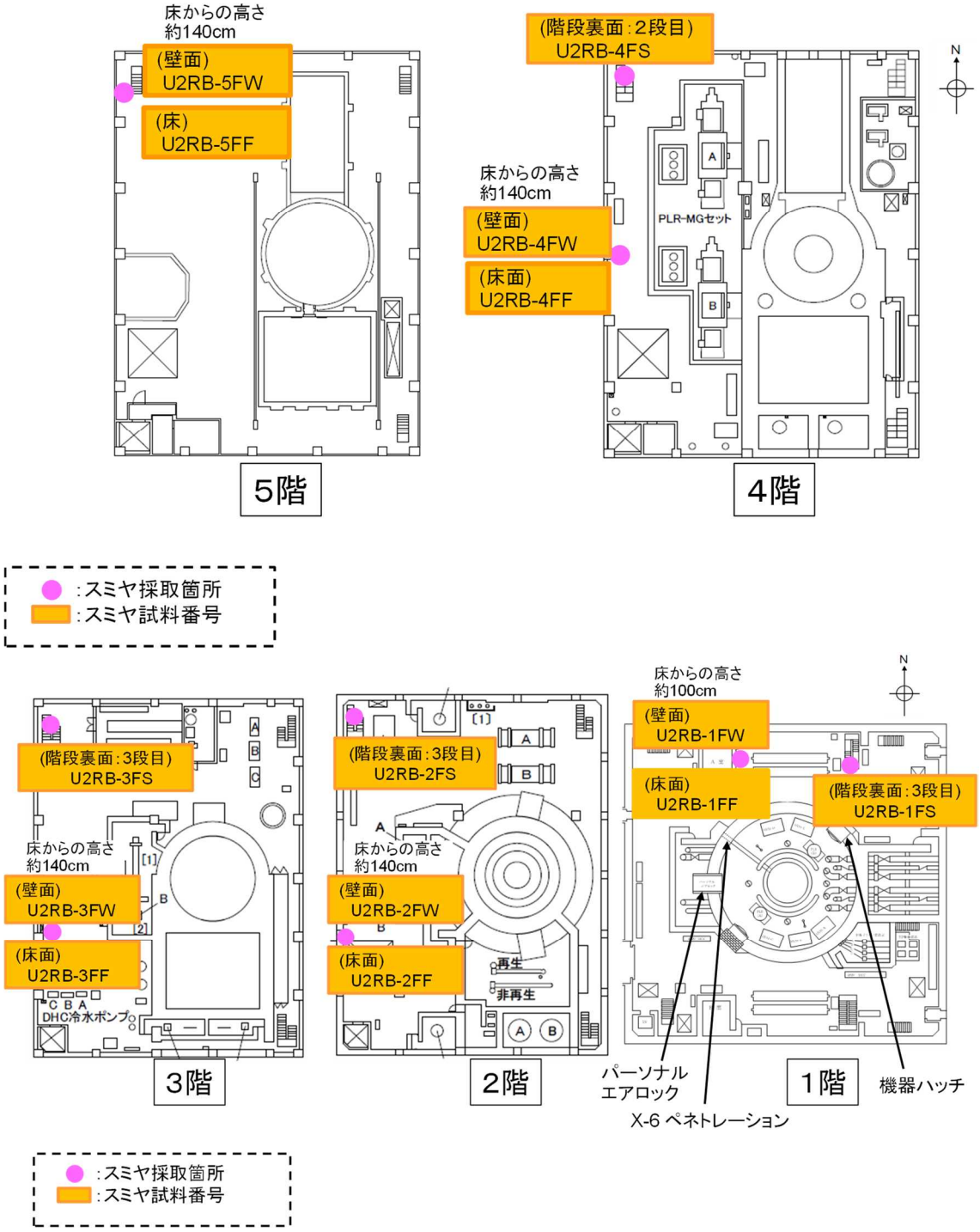



図１　２号機原子炉建屋内のスミヤ採取場所

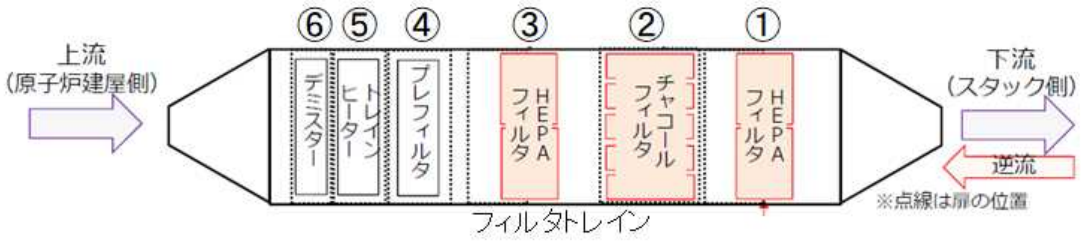



図２　3 号機 SGTS フィルタトレイン内のスミヤ採取場所




図３　1/2 号機 SGTS 配管内部のスミヤ採取場所 [3]

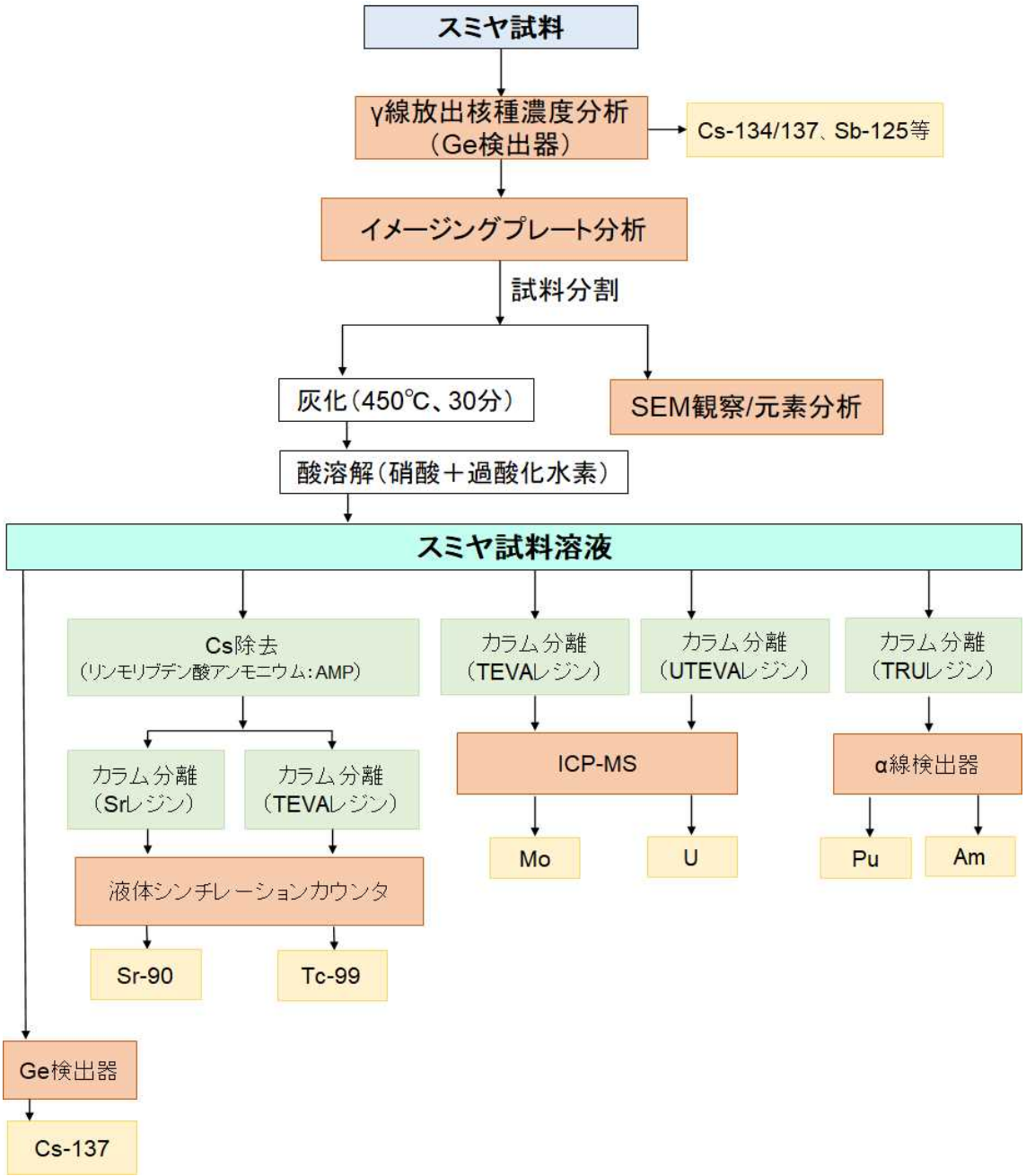



図４　スミヤ試料分析フロー

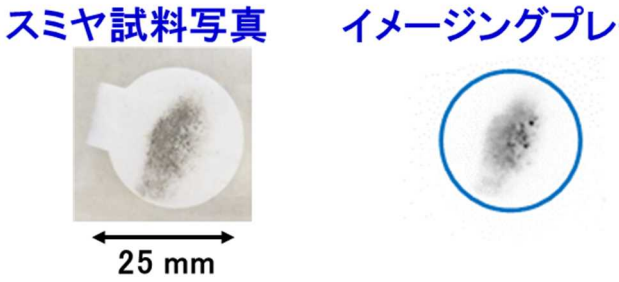



図５　2 号機原子炉建屋内で採取したスミヤ試料の写真（左）と
イメージングプレート分析結果（右）の例（5 階壁面試料）

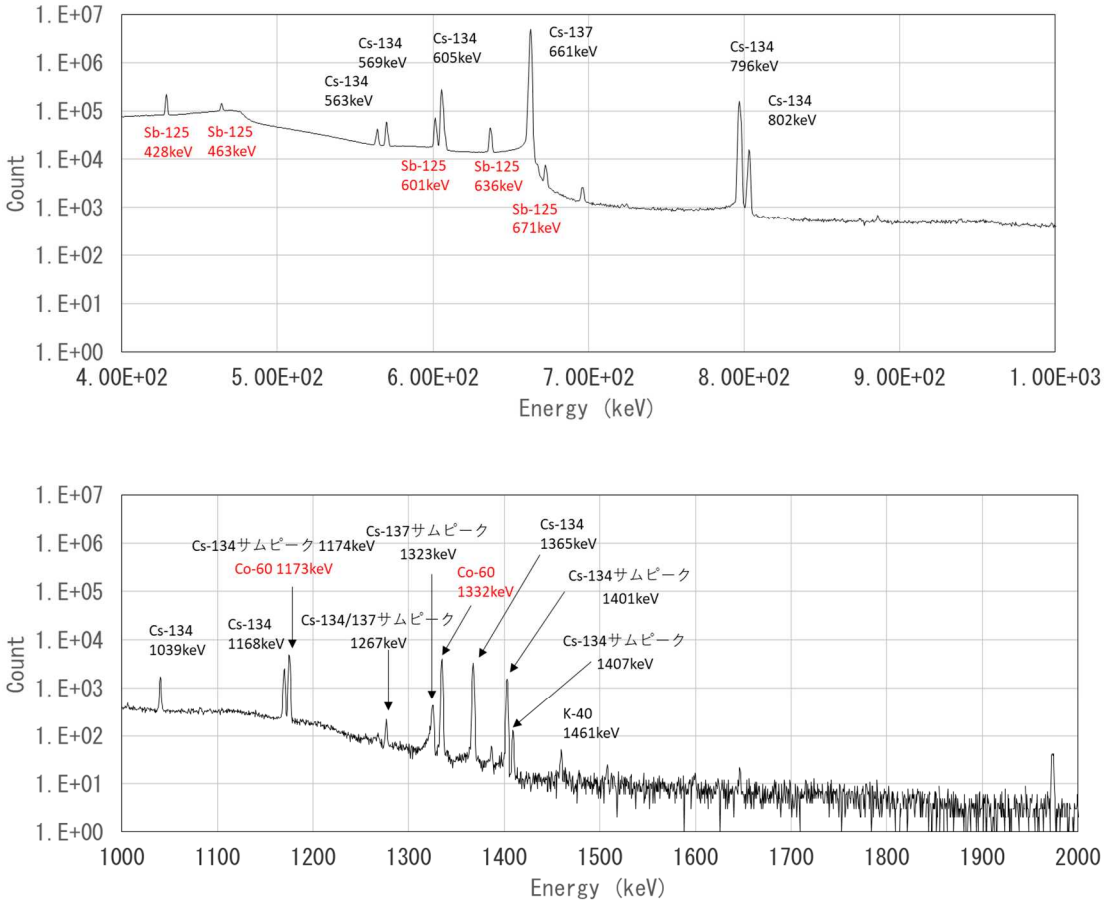



図６　スミヤ試料の Ge 分析結果の例
（5 階壁面試料；上段 400～1,000keV、下段 1,000～2,000keV）

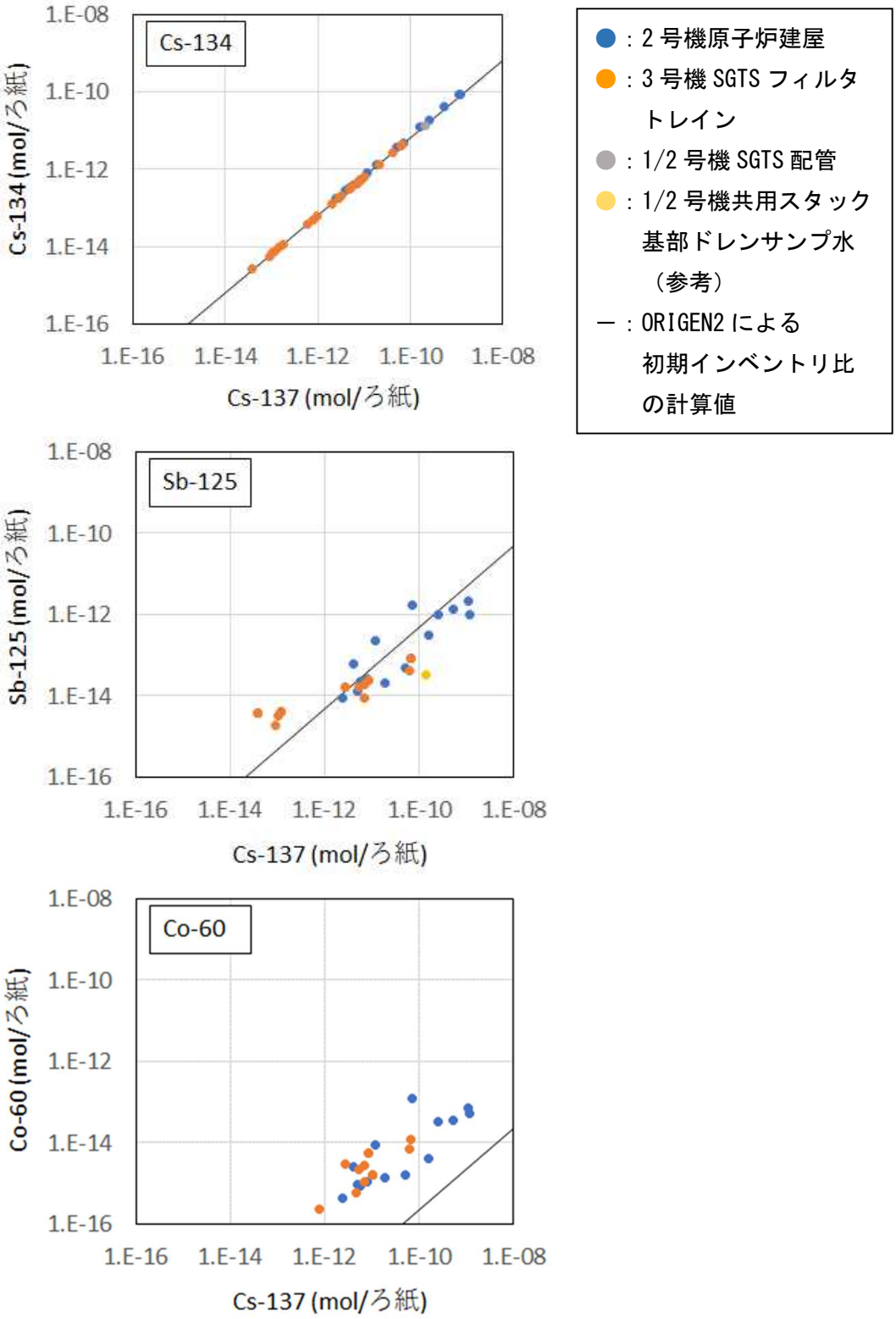



図７　スミヤ試料の Ge 分析結果（半減期を考慮して推定した事故当時の値）

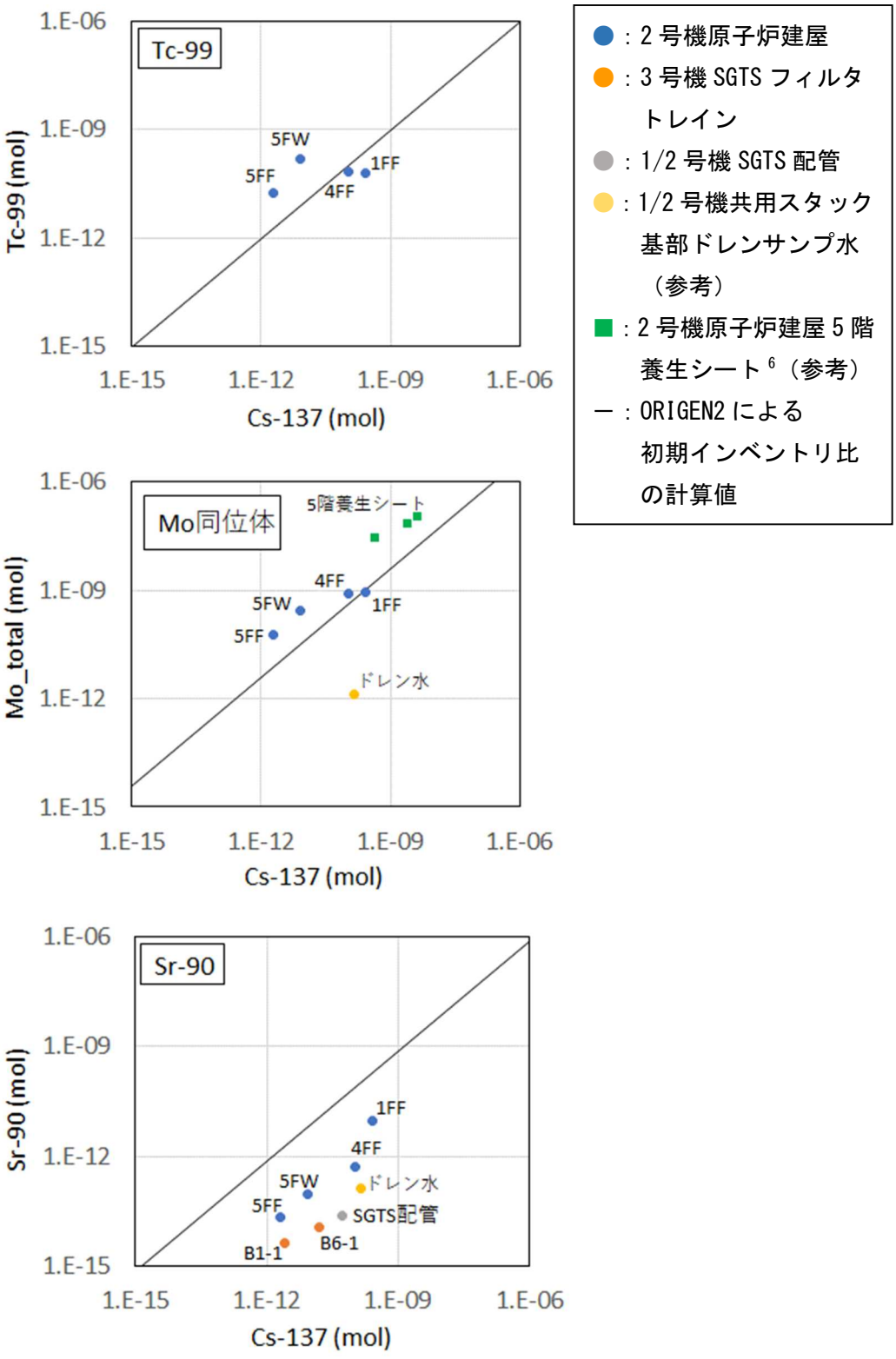
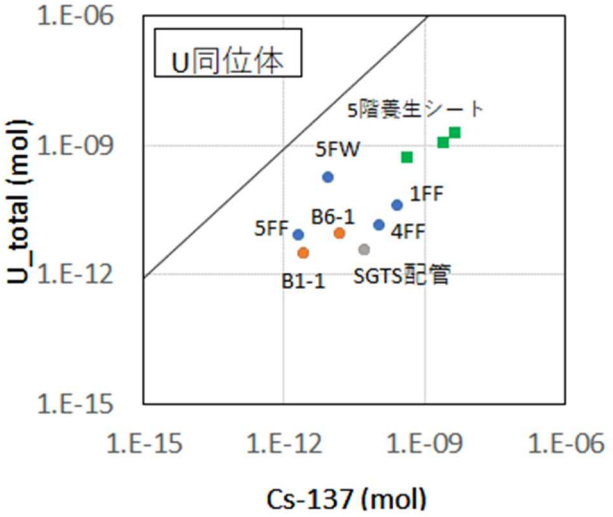
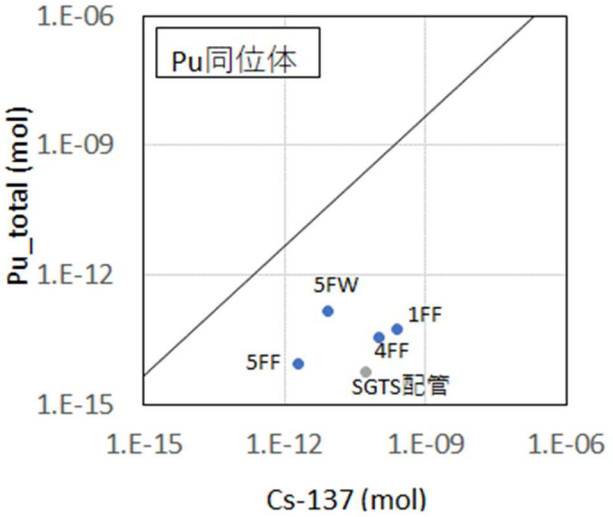
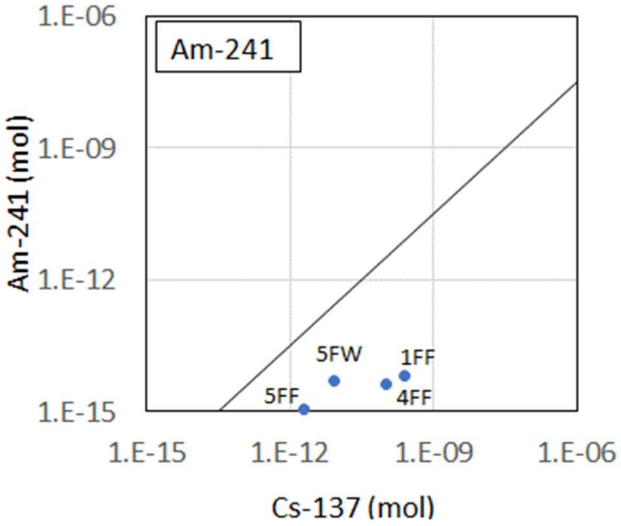



図８　酸溶解後スミヤ試料の核種分析結果（1/2）
（半減期を考慮して推定した事故当時の値）



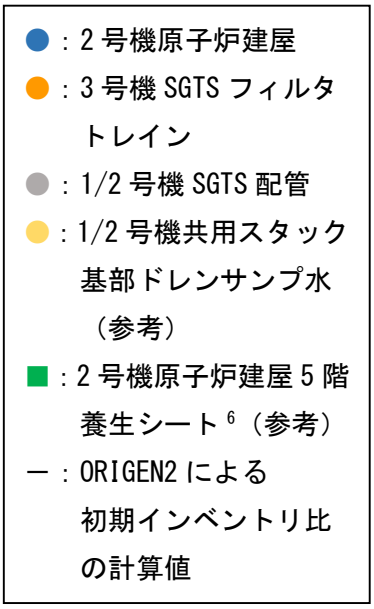




図９　酸溶解後スミヤ試料の核種分析結果（2/2）
（半減期を考慮して推定した事故当時の値）

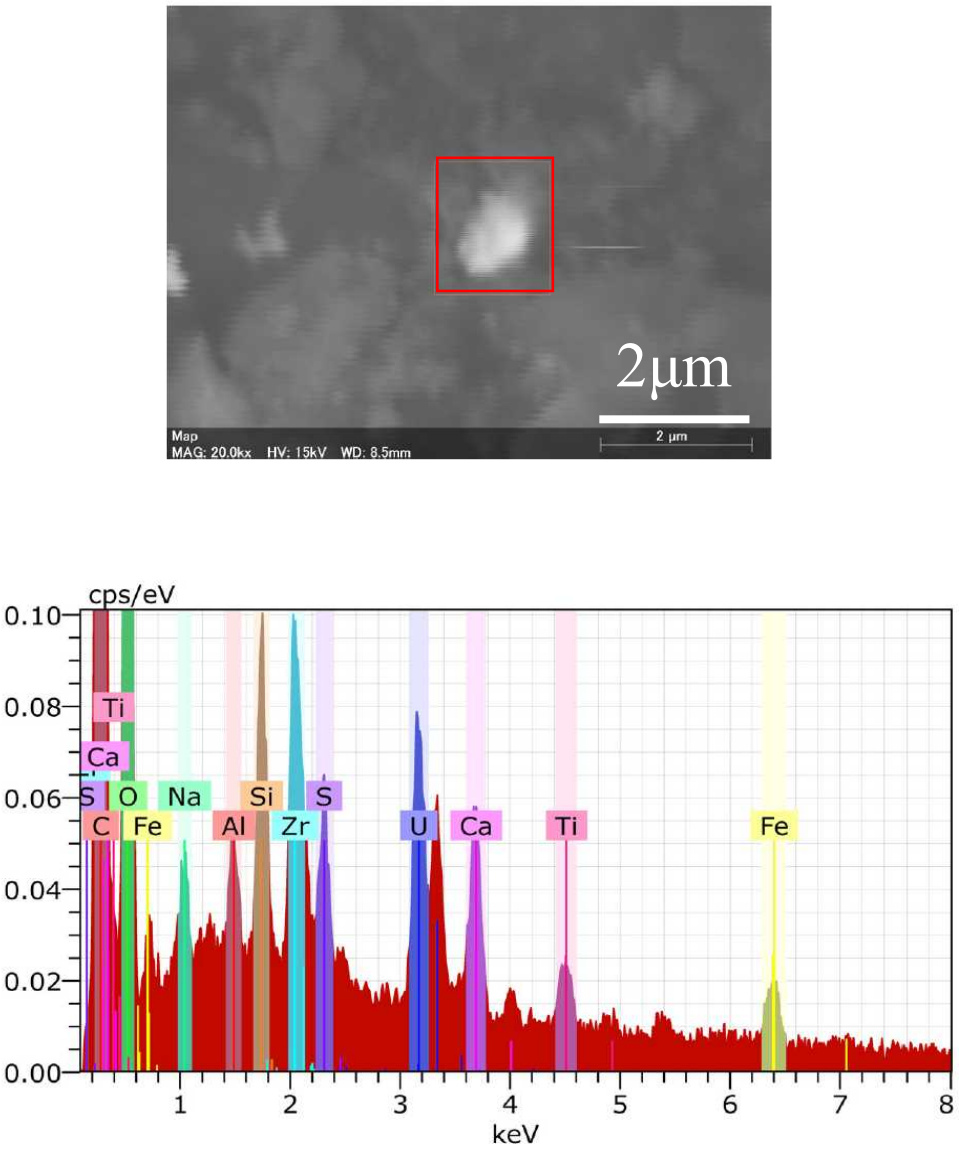



図 10　5 階床面試料の SEM 像と元素分析結果

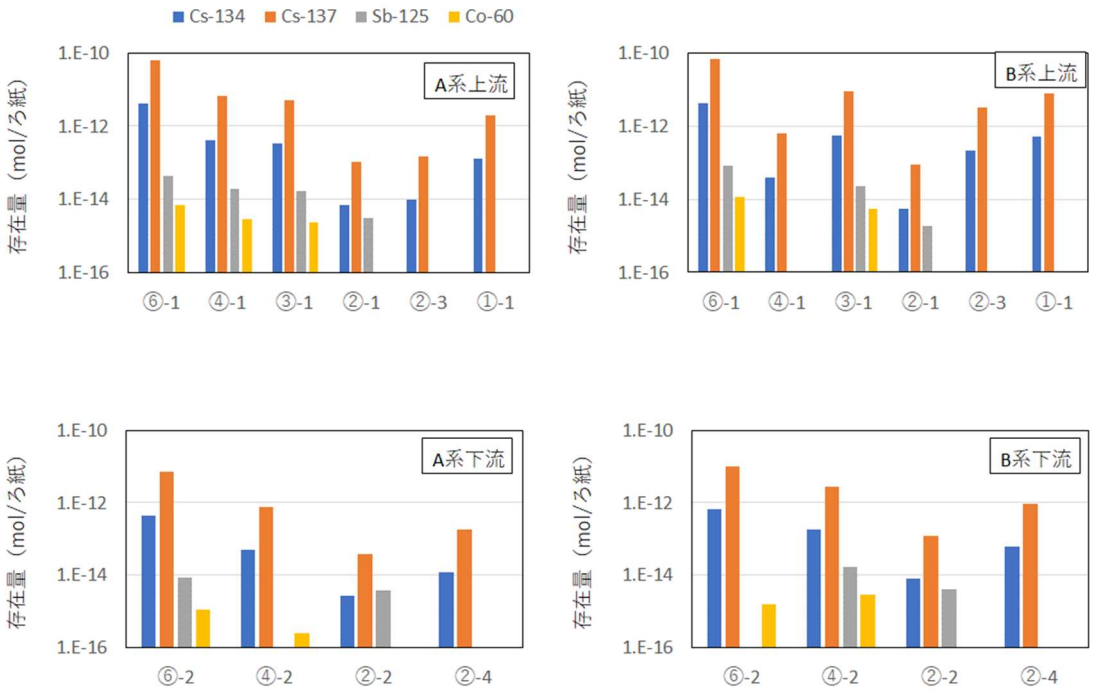



図 11　3 号機 SGTS フィルタトレイン内スミヤ試料の Ge 分析結果
（半減期を考慮して推定した事故当時の値）