

# マイクロ波検出技術を用いた高分子材料への熱・放射線照射による 経年劣化測定技術に関する研究 (Ⅲ)

砂川 武義\*, 佐伯 昭紀\*\*, 関 修平\*\*

## Non-contact Quantitative Microwave Detection of Radiation Induced Degradation of Polymers (Ⅲ)

Takeyoshi Sunagawa, Akinori Saeki, and Shu Seki

In 2012, there are 50 commercial nuclear power plants in Japan. There are 20 nuclear power plants which are working for 30 years or more. It is very important to measure the aged deterioration of the cable used in those nuclear power plants. Generally, degradation of a cable was measured by the tensile test. It was difficult to measure an electrical property quickly and nondestructively. We developed the nondestructive measurement technology of cable degradation which used microwave technology.

Keywords: 原子力, 高経年化, ケーブル劣化, 非破壊診断, マイクロ波誘電吸収法, ふげん発電所

### 1. 緒言

我が国の商用原子力プラントは、PWR（加圧水型原子炉）及び BWR（沸騰水型原子炉）を合わせて 50 基を数え、今後も国内のエネルギー供給源として重要な役割を担っていくものと考えられる。一方、供用期間の長期化に伴って原子力プラントの安全性、信頼性を維持していくためには、高経年化対策が重要な課題であると考えられる。その課題の一つに高分子ケーブルの劣化があり、現在、高分子材料の劣化を高精度で尚且つ非破壊的で容易に測定する手法の開発が求められている。<sup>1)</sup>

本研究は、プラント内に敷設されている低圧ケーブルの電気的特性を非破壊的に直接測定することを可能とするマイクロ波誘電吸収測定装置の開発及び、本測定装置による、実機プラントである JAEA 原子炉廃止措置研究センター(ふげん発電所)内の原子炉格納容器内及び制御室に敷設されているケーブルを測定することにより、実機環境下での作動確認、実機適用性の検証を行うことを目的とする。

### 2. 実験方法

#### 2.1 測定装置

Fig. 1 に、本研究で開発したプラント内持ち込み型マイクロ波測定装置を示す。本装置は、電源部・マイクロ波回路部（回路部）・マイクロ波空洞共振器の 3 つから成り立っており、稼働中のプラント内で、非破壊的かつケーブルの電気的特性の劣化を容易に測定することができるようにと

---

\*原子力技術応用工学科 \*\*大阪大学大学院工学研究科

設計されたものである。実際の測定において、マイクロ波空洞共振器を測定対象ケーブルに接触させる必要があるため、回路部と電源部は、約 10m の同軸ケーブルで接続されている。本測定装置は全て、火力発電所等においても使用できるように、防爆・防水措置が施されている。

2.1.1 電源部

電源部は外部電源ノイズや電圧変動の影響を受けないように、バッテリーで6時間 駆動するように設計した。

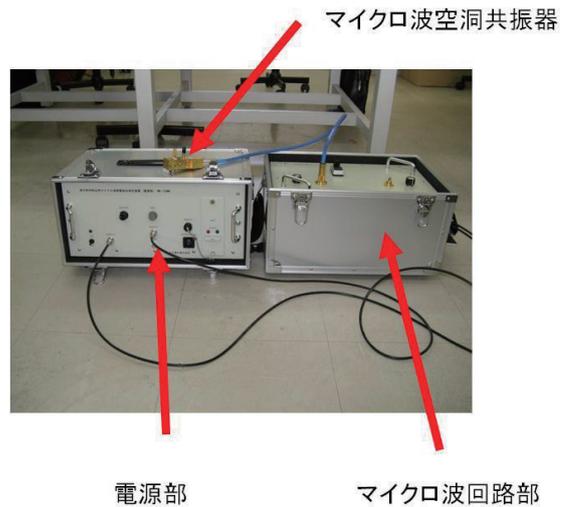


Fig. 1 Measuring device

2.1.2 回路部

Fig. 2 に、回路部内部の写真を示す。Gunn 発振器から発振された Q-band(43GHz)のマイクロ波は Circulator によってマイクロ波空洞共振器に導き、その反射波を検波器で検波した。ここで、本回路は、①Gunn 発振器、②Isolator、③Attenuator、④ Circulator、⑤検波器より構成されている。回路部は持ち運びしやすくするために可能な限り軽くし、肩から掛けて測定できるように設計した。

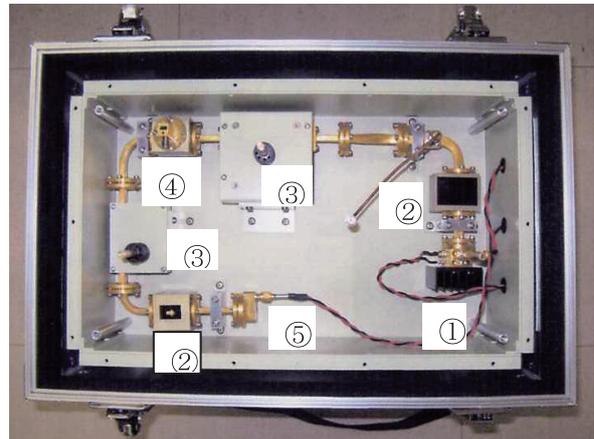


Fig. 2 Microwave circuit components

2.1.3 マイクロ波空洞共振器

Fig. 3 に、測定に使用したマイクロ波空洞共振器の写真を示す。共振モード、Q 値 $\geq 2000$ 、共振周波数、測定穴 1.0mm $\times$ 2.5mm である。マイクロ波空洞共振器と回路部をつなぐマイクロ波ケーブルは約 70cm であり、閉所空間においても、測定可能なように工夫した。

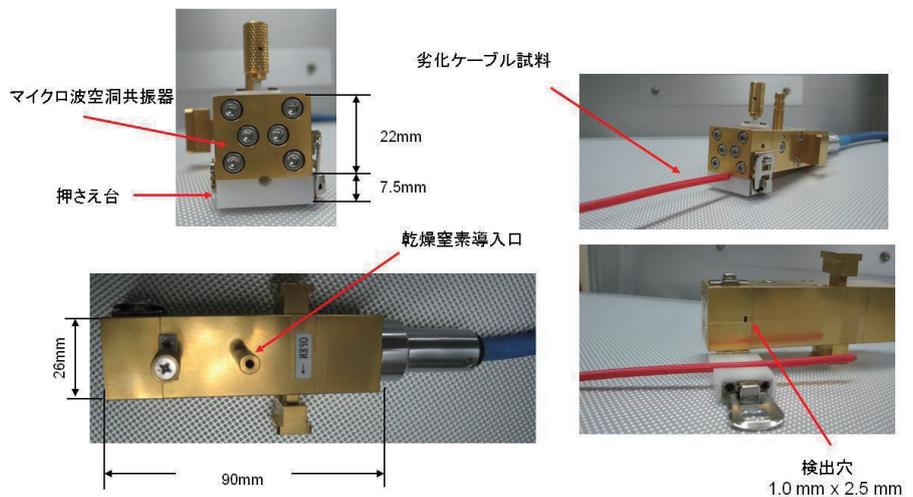


Fig. 3 Microwave cavity

## 2.2 測定ケーブル

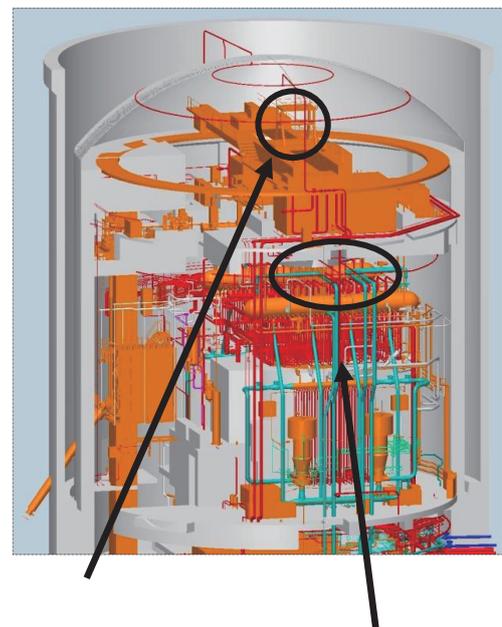
測定ケーブルは、1977年2月までに、ふげん発電所内に敷設され、原子炉稼働時間 約 137000 時間使用されていた。<sup>2)</sup> 本研究における測定対象としたケーブルは、制御棒駆動用/信号ケーブル (Fig. 4)、原子炉内中性子計測装置用ケーブル、原子炉再循環ポンプ周ケーブル、工安形・下部ヘッダー低圧注水弁ケーブル、中央制御室内給水制御装置補助盤内ケーブル等計 79 本である。



Fig. 4 Signal cable

## 2.3 測定箇所

本研究の測定箇所は、ふげん内の原子炉建屋 6 階 (Fig. 5 の上丸) と原子炉建屋ドラム階 (Fig. 5 の下丸)、原子炉建屋ヘッダ階 (Fig. 6)、原子炉建屋モータ階、原子炉建屋ポンプ室、原子炉建屋 1 階そして中央制御室の 7 か所である。



原子炉建屋 6 階 原子炉建屋ドラム階

Fig. 5 Reactor building

## 2.4 測定作業

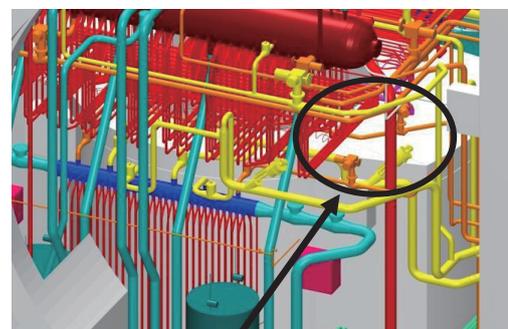
本測定は、JAEA 及び (株) TAS の協力のもと、以下の手順で行われた。

### 2.4.1 準備作業(管理区域内)

最初に万が一の汚染に備え測定機器一式をビニールで囲み必要な養生を施した。次に測定対象ケーブル及び必要な作業環境の確認をし、測定対象ケーブルの外皮部の除去などを行った。測定対象ケーブルが高所にある場合は足場を作り、暗所については仮設照明を設置した。

### 2.4.2 現場での調整作業 (原子炉建屋内)

各測定機器間にケーブルを接続した後、電源部、オシロスコープを充電し、各測定機器の調整を行った。その後ケーブルを外し測定現場に運搬可能とした。調整した測定機器一式を測定現場に運搬・設置して、各測定機器間にケーブル接続が正しく行われているかを確認した後、各機器が正常に動作しているかを確認した。



原子炉建屋ヘッダ階

Fig. 6 Reactor building

### 2.4.3 測定作業（原子炉建屋内）

- ①ケーブル測定部にケーブルを挿入しない状態にて、オシロスコープ信号「零点」を確認した。
- ②測定対象ケーブル（素線）をケーブル測定部に挿入し、この時のオシロスコープ信号の「変化値」を確認・記録した。
- ③ケーブル（素線）を 180° 回転させ②と同様に測定・記録した。ケーブル径はノギスで測定・記録した。

他のケーブルの素線に対して①～③と同様に施した。測定終了後、各測定機器及びケーブルの養生を排除し、原子炉補助建屋に運搬仮置きし、汚染確認後搬出した。

### 2.4.4 調整作業（中央制御室）

機材を運搬し、各測定機器間にケーブルを接続し、電源部、オシロスコープを充電し、測定器に調整作業を施し、完了させた。

### 2.4.5 測定作業（中央制御室）

給水制御系補助系中央制御盤内の測定対象ケーブルを盤内の端子台より取り外した。（取り外す前にテスターにて検電し電圧が印加されていないことを確認し、取り外したケーブルの端子には念のため絶縁テープにて保護した。）測定は、2.4.3 の①～③と同様に施した。測定し終わったケーブルは対応する盤台に取り付け直した。

## 3. 結果と考察

実機適用調査において得られた知見を表1の実機適用に関する改善案と共に以下に記す。

### 3.1 準備作業

#### ①対象ケーブルの明確化

測定作業開始前の調査にて一部見つからないケーブルも確認されたことから事前に対象ケーブルを明確にする必要がある。（原子炉建屋内は、試料採取等にて一部解体された機器のケーブルは管理番号が不明なものがあるためである。）この他、測定対象ケーブルは多芯化ケーブルが多く実際には予備線等も含め展開接続図に記載されている以上に存在するのでどこまで計測するか事前に明確にする必要がある。原子炉建屋にて既に切断されたケーブルが対象となっているが、表示がケーブル番号のみであり、このようなケーブルが増えると判断が困難となる。休止措置やアイソレーションの表示が必要であると考えられる。

#### ②対象ケーブルの素線の管理番号の明確化

測定対象ケーブルは、多芯化されているものが多く、既に装置、測定器等から切り離されており各素線の管理番号（端子番号）が不明と成っている。本研究において、対象となった素線の識別を行うことにより区別したが、今後は端子台等での取り外しを行い各素線の識別が可能ないようにすべきである。

### 3.2 調整・測定作業

本試験装置はマイクロ波（43GHz、3mW）を使用しており、原子炉建屋、中央制御室での測定器への電源投入前に、中央制御室当直長に連絡し、異常の無いことを確認し試験を実施した。本研究の測定範囲では影響の無いことは確認できたが、本装置を運用中の原子力プラントにて使用するためには、運用中の設備にも影響ないことを「ふげん」の放射線モニター等の検出器部分、中央制御室中央補助盤放射線モニター盤近傍での動作確認を実施する必要があると考える。

本測定手法により、ふげんに敷設されている79本のケーブルの測定を行った。測定の結果、実機環境下で安定して作動することを確認した。また、電源部においては当初予想していたようにバッテリー駆動を行うことで安定した測定を可能とした。実際の測定において、非破壊的に迅速にケーブルを測定できた。装置の小型化と接続ケーブルの減少、原子力発電所内の放射線影響に対する対処、回路部接続ケーブルの不安定さの解消、測定対象ケーブル径の太さに対応可能なマイクロ波空洞共振器への改良、ケーブルのシース上からでも測定できる可能性を検討するため等の新たな課題が得られた。

Table 1 The improvement proposal about system application

No	項目	気付き事項	改善案
1	測定準備	①測定装置が大きく重量もあり、4台に分割されており <b>運搬・接続が大変</b> である。 ②測定準備中に一部見つからないケーブルが確認された。	①当面は <b>装置の小型・軽量化、台数の合理化</b> 等が必要だと思われる。 ②アイソレーションの表示が必要だと思われる。
2	測定作業	①ケーブル計測機及び接続ケーブルが変動すると <b>指示が安定せず測定が困難</b> である。 ②ケーブル測定部はケーブル太さに応じた物、又は抑え部が変化できる物が必要である。 ③測定時に外皮を除去する必要があり、運用しているプラントでの測定は困難であると思われる。	①ケーブル測定部をケーブル接続ではなく、 <b>直接測定装置に取り付ける</b> 形状にする。 ②ケーブルの太さごとに測定部を交換するか、測定部のケーブル押さえ部を柔軟性のある材質にした方が良く考えられる。 ③外皮上から直接測定するとか、端子台に接続した状態にて測定できるようにする。
3	その他	①装置の調整および測定に専門的な知識を要する。 ②現在の装置では <b>測定に2～3名の要員が必要</b> である。 ③本測定装置はマイクロ波を使用しているため、原子力発電所では設備に対して影響がないかを確かめる必要がある。	①装置自身にて校正機能を持たせ、測定値は直接デジタル表示されるようにする。 ②測定準備①を実現し <b>1名にて測定できるようにする</b> 。 ③放射線モニタ等敏感な計測器に近付け確認する必要があると思われる。

#### 4. 結言

本研究においては、当初の目的である実機環境の中での作動確認では、問題なく作動した。実機適用性に関しては、貴重な知見が得られた。

本手法は、従来 電気的特性の測定が難しかった、低圧ケーブルを対象に高感度に、電気的特性を測定する手法を確立したものであり、今後ケーブル劣化診断の国際標準手法になりえるものであると考える。

#### Reference:

- 1) 平成 21 年度原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究に関する報告書 独立行政法人 原子力安全基盤機構
- 2) 平成 22 年度ケーブル劣化診断法の適用性試験〈作業報告書〉(株)TAS

(平成 24 年 3 月 31 日受理)