



## 「常陽」における遠隔監視システムの開発 と遠隔監視技術の核不拡散分野への適用

花井 祐 リチャード・ルセロ\*  
橋本 裕\*

国際・核物質管理部  
\*大洗工学センター 照射施設運転管理センター

資料番号 : 5 - 4

Development of Remote Monitoring System in Joyo and its  
Application to Non-proliferation of Nuclear Materials

Tasuku HANAI Richard L. LUCERO\* Yu HASHIMOTO\*  
International Cooperation and Nuclear Material Control Division, Head Office  
\* Irradiation Center , O-arai Engineering Center

サイクル機構と米国エネルギー省（DOE）は、平成8年度から大洗工学センター高速実験炉「常陽」の関連施設を利用して遠隔監視システムの共同研究を進めている。

平成11年6月に設置した遠隔監視システムは、使用済燃料貯蔵施設及び新燃料貯蔵室にビデオカメラや各種のセンサを設置し、遠隔地から施設を監視するものである。設置以降、本システムは順調に稼働しており、多くの有用なデータを収集している。

遠隔監視技術は、データの処理方法の検討を今後進めることにより、サイクル機構が進める原子力平和利用に係る技術開発の透明性を向上させる有効な技術的手段として利用することが可能となる。

The Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) and the United States Department of Energy (DOE) have jointly developed the Joyo Remote Monitoring System (JRMS) for use at the experimental reactor Joyo, located at the O-arai Engineering Center (OEC). Remote Monitoring (RM) technologies have been in use at Joyo since 1996.

The JRMS, which was installed in June, 1999, can remotely monitor activity in the spent fuel storage facility and fresh fuel storage facility by using various sensor and video systems. Since the installation of the JRMS, the system has performed well and has collected an abundance of sensor and video data.

By studying RM technologies and the data from the JRMS, JNC hopes that these technologies will prove to be an efficient method promoting nuclear transparency and enhancing research and development regarding the peaceful use of atomic energy.

キーワード

核不拡散、原子力平和利用、透明性、保障措置、遠隔監視、高速増殖炉、常陽

Nuclear Nonproliferation, Peaceful Use of Atomic Energy, Transparency, Safeguards, Remote Monitoring, Fast Breeder Reactor, Joyo

### 1. はじめに

サイクル機構と米国エネルギー省（Department of Energy : DOE）は「保障措置及び核不拡散のための核物質管理と計量管理方法に関する研究開発協力協定」の下で、遠隔監視技術の核不拡散分野への適用についての研究を平成8年度から共同で行っている。

遠隔監視技術は、新しい保障措置の効率化策の一つとして注目されている技術であり、IAEAが中心となって精力的に技術開発を行っている。サイクル機構とDOEは、本技術を、保障措置技術

という観点にとらわれずに、より広い観点から捉え、原子力平和利用の透明性を向上させる技術的手段と考えて共同研究を実施してきた。

本報告は、大洗工学センター高速実験炉「常陽」の関連施設を利用して行っている遠隔監視システム（以下、「常陽」遠隔監視システム）の技術開発及び核不拡散分野への適用についての考察を報告するものである。

なお、本報告で述べるシステムの基本設計は、米国エネルギー省サンディア国立研究所（Sandia National Laboratories : SNL）が行っており、シ

システム本体は、「常陽」の関連施設に設置している。またデータの取得と分析、遠隔監視機器類の調整は、大洗工学センターの照射施設運転管理センター・照射管理課が実施し、全体計画の取りまとめと本技術の核不拡散分野への適用についての検討を国際・核物質管理部核不拡散対策グループが実施している。

## 2. 「常陽」遠隔監視システムの開発経緯

「常陽」遠隔監視システムの開発は、平成8年度に第1期を開始し、現在、第2期の開発を実施中である。本システムは、資金的に負担の大きな個々のセンサや機器類の製作は極力避け、市場において安定した動作性能が確認されている製品（ソフトウェアを含む）を使用し、技術のみならず経済性にも優れたシステムを作りあげていくことを開発コンセプトとしている。各期の開発内容は以下のとおりである。

なお、第2期終了後の平成12年度からは、データの核不拡散分野への適用という観点から、遠隔監視によって得られるデータの処理・解析方法について、本システムが収集するデータを参考にし、検討を行っていく予定である。現在、研究内容の詳細は、サイクル機構とDOEとの間で協議中である。

### 2.1 第1期（平成8年度～9年度）

「常陽」の付属施設である使用済燃料貯蔵施設に線センサ、中性子センサ、モーションセンサ、ビデオカメラ、データ収集用コンピュータを設置し、これらをネットワークで接続して、データ収集システムを構成している<sup>1), 2)</sup>。データの評価は、大洗工学センター、動燃東京本社（当時）、SNLの各々のコンピュータから、一般電話回線を利用

して、データ収集コンピュータにアクセスして行った。平成8年7月に機器類の設置を開始し、その後、平成10年6月までに各種の動作試験及び1,000枚以上の画像を含むデータ収集を行った（図1）。

### 2.2 第2期（平成10年度～11年度）

第2期に使用済燃料貯蔵施設に設置したセンサ類の交換及び新センサの追加を行うとともに、新たに新燃料貯蔵室にもセンサ類の設置を行った<sup>3), 4)</sup>。新たに加えたセンサ類は、磁気変化センサ（ドア開閉センサ）、赤外線センサ、新型ビデオカメラ（NTVision：以下、NTビジョン）である。また中性子センサと線センサをステンレス性円筒容器内に収納し、これを使用済燃料貯蔵プール内に懸架して水中での使用済燃料の移動を監視する手法も取り入れている。

両施設内には、データ収集コンピュータを別々に設置し、各センサ類とデータ収集コンピュータをネットワークで接続している（図2）。本システムは、インターネットによるアクセスを前提に構成しており、技術的には外部からインターネットによるアクセスも可能となっている。平成11年6月中旬に機器類の設置を行い、現在、動作試験とデータ収集を継続中である。

## 3. 「常陽」遠隔監視システムの構成

### 3.1 概要

第2期の「常陽」遠隔監視システムは、SNLが開発した物質監視システム（Material Monitoring System：MMS）を基本として、大洗工学センターの「常陽」関連施設における遠隔監視適用試験用にサイクル機構とSNLが共同で開発したものである。

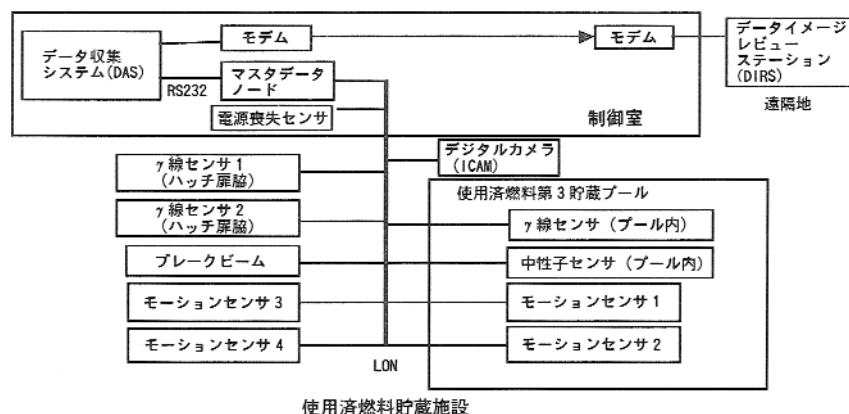


図1 第1期に構築した「常陽」遠隔監視システム構成図

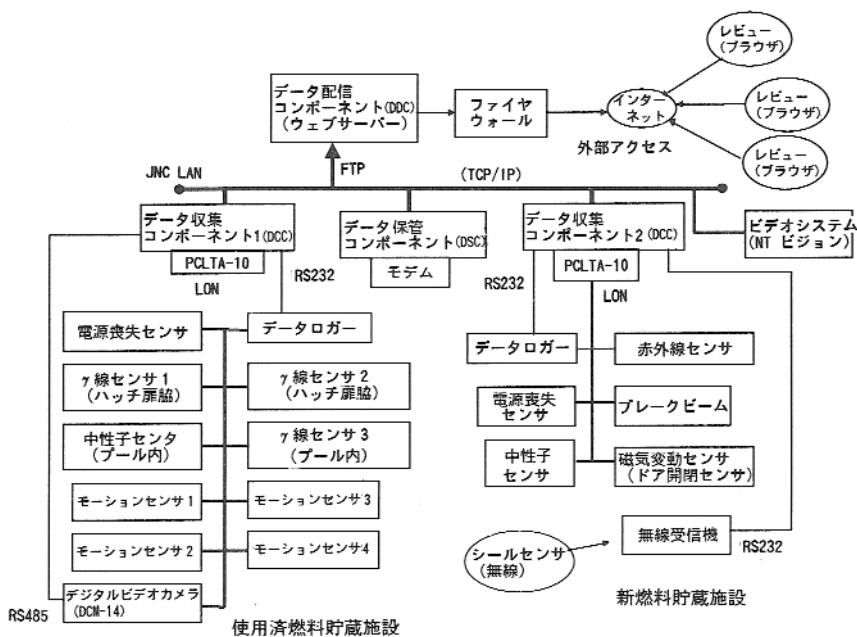


図2 第 期に構築した「常陽」遠隔監視システム構成図

SNLが基本設計を行った物質監視システム(MMS)は、データ収集コンポーネント(Data Collection Component : DCC)、データ保管コンポーネント(Data Storage Component : DSC)及びデータ配信コンポーネント(Data Dissemination Component : DDC)からなる。

「常陽」遠隔監視システムでは、データ収集コンポーネントのセンサ類は使用済燃料貯蔵施設と新燃料貯蔵室に設置しており、データ収集用コンピュータは、使用済燃料貯蔵施設の制御室に1台及び新燃料貯蔵室内に1台との計2台を設置している。データ保管コンポーネントは、使用済燃料貯蔵施設の制御室に、データ配信コンポーネントは、照射施設運転管理センター・照射管理課居室に設置している。

### 3.2 データ収集コンポーネント(DCC)

DCCは、Local Operating Network(LON)のノード(node)に接続された各種のセンサ、データロガー(米国IEC社製: Intelligent Technology Corp.)及びコンピュータからなる。データロガーは、センサ類からのデータを収集し、DCCのコンピュータにデータの転送を行う。DCCのコンピュータは、可変設定可能な一定時間毎及びセンサの測定値が一定強度を超えた場合には逐次、コンピュータ内部に一時的なデータ保管を行い、その後データ保管コンポーネント(DSC)に転送する動きを行う。DCCからDSCへのデータ転送

は、構内LANを使用するため構内LANの回線状況の影響を受ける可能性が考えられる。このことからDCCは、回線の過密状態が長期間続くことによるDSCへのデータ転送に問題が生じないように、長時間スタンドアロン状態でデータ収集を行うことが可能となっている。また、不測の電源供給遮断に備え無停電装置もコンポーネント内に装備している。「常陽」遠隔監視システムは2セットのDCCで構成され、それぞれが使用済燃料貯蔵施設の制御室と新燃料貯蔵室に設置され、遠隔監視データの収集を行うようになっている。

#### 使用済燃料貯蔵施設内のセンサ類

使用済燃料貯蔵プールにキャスクを出し入れする際に開閉を行うハッチ扉の外側両脇に2台の線センサを設置している。これによりキャスクに収納された使用済燃料の搬出入を監視する。各々の線センサは、2対のNaIクリスタル(直径3インチ、厚さ1インチ)を並列に連結して感度を高めるとともに、後方及び側面を鉛で遮蔽して指向性を高めている。

使用済燃料貯蔵プール全体を監視できる位置にデジタルビデオカメラ(Digital Camera Module : DCM・14)1台を設置し、貯蔵プール周辺の動きを監視している。貯蔵プール周辺には、4台のモーションセンサを設置しており、これらのうち、いずれかが動作を検知した場合には、DCM・14に信号を送り、DCM・14は画像の取り込みを行う。取り込まれた映像は、デジタル信号としてRS485



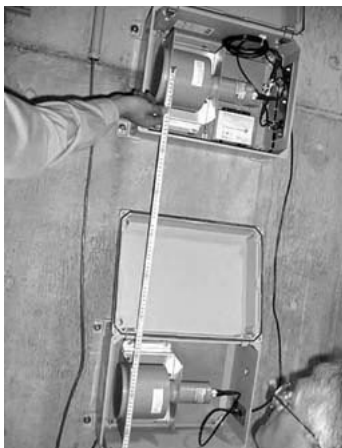


写真1 使用済燃料貯蔵施設トラックヤードに取り付けた線センサ

によりDCCコンピュータに転送される。また、DCM-14は、作動状態の確認のために、モーションセンサの検知に関係なく12時間毎に1画像をDCCコンピュータに転送する設定を行っている。第期の「常陽」遠隔監視システムの構成では、防水処置を施した中性子センサを使用済燃料貯蔵プール内に懸架して貯蔵プール内の使用済燃料集合体の移動を監視していた。ところが、中性子センサ本体への水の浸入のためと考えられる測定異常が時折見られた。このことから、第期のシステムでは、より水密性を高めた、高さ約60cm、直径約30cmのステンレス製円筒容器に線センサ、中性子センサ、A/D変換器及びLON関連の機器類を収納し、密封後に貯蔵プール内の深度約4.6mに懸架する方法をとっている。これにより、以前みられた測定異常はみられなくなっている(写真2)。

**新燃料貯蔵室内のセンサ及び監視カメラ**

新燃料貯蔵室では、外部から貯蔵室へ新燃料を搬入するための搬入口にブレイクビームセンサを



写真2 中性子センサと線センサを収納したステンレス製円筒(写真中央)

設置し、新燃料の搬出入を監視するようにしている。また貯蔵室の出入扉の上部には磁気変化センサ(ドア開閉センサ)を設置し、人の出入り等による扉の開閉を監視している。貯蔵室内の側壁には赤外線センサや中性子センサを設置し、貯蔵ピット上の人間及び新燃料の動きを監視している。

施設内の全体を見渡すことが可能な位置にはビデオカメラ(NTビジョン)を設置し、画像による監視を行うようにしている。NTビジョンは、米国エネルギー省ロスアラモス国立研究所が開発したビデオカメラシステムで、カメラによって取り入れた画像をデジタル信号に変換し、ビデオカメラ内部のメモリーに一時的に保管し、メモリー上で前の画像と現在の画像の比較を行い、変化が認められる場合のみ画像の取り込みを行う機能を持っている。これによってビデオ画像を取り込む場合に、モーションセンサとの連動を考慮する必要がなくなり、システム構成の簡素化が可能となっている。現在のところ、NTビジョンは独立して

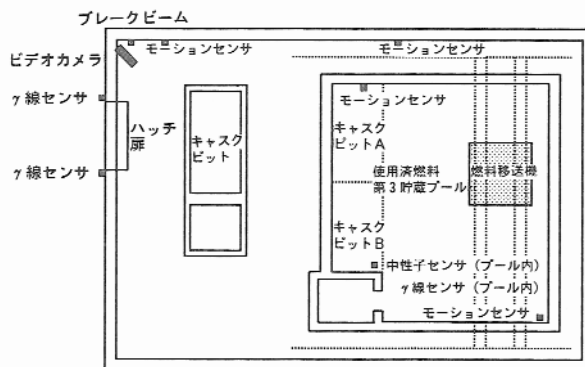


図3 「常陽」使用済燃料貯蔵施設内遠隔監視用センサ類配置図



写真3 新燃料貯蔵室に設置した中性子センサ(写真右上の円筒容器)

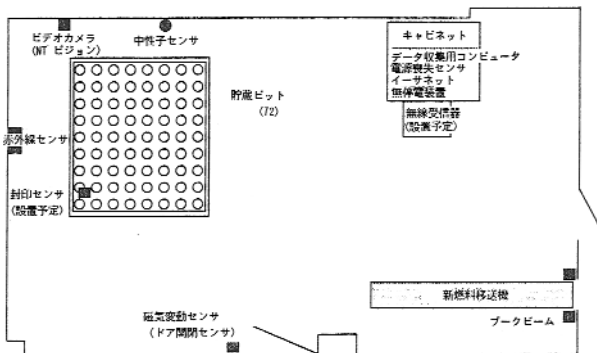


図4 「常陽」新燃料貯蔵室遠隔監視用センサ類配置図

構内LAN (Local Area Network) に接続しており、DSCコンピュータは、構内LANを使ってNTビジョンへのアクセスを行う。

平成11年度中には、新燃料貯蔵室の新燃料貯蔵ピットに封印センサを設置し、貯蔵ピットの開封を遠隔で監視する予定である。これは、封印を取り外した際に信号を915MHz帯の微弱電波によって受信機に送信するものであり、信号を受け取った受信機は、RS232Cを通してDCCに信号を転送するようになっている。

### 3.3 データ保管コンポーネント (DSC)

データ保管コンポーネント (Data Storage Component : DSC) は、DCCコンピュータから転送されるデータの受け取りを行うボードとデータ保管を行うコンピュータからなる。システム構成上、DSCのコンピュータから各センサへの直接のアクセスは不可能となっているが、DCCコンピュータ内に一時的に保管されているデータにはアクセスが可能である。

### 3.4 データ配信コンポーネント (DDC)

データ配信コンポーネント (Data Dissemination Component : DDC) は、標準FTP (File Transfer Protocol) を使ってイーサネット (Ethernet) 経由でDSCとのデータの交換を行う。また、遠隔監視データのデータ評価を行う場合にはサーバーとしてデータ配信の機能を果たす。第「期」の「常陽」遠隔監視システムでは、ファイヤーウォールの内側にDDCコンピュータを設置しており、外部からのアクセスは不可能となっている。しかしながら、サイクル機構イントラネットでは、指定されたユーザーは、インターネットブラウザを使用してアクセスすることが可能である。

## 4. 「常陽」遠隔監視システムの実例

第 期 の「常陽」遠隔監視システムは、施設内に機器類の設置が終了した平成11年6月中旬からデータの取得が可能となっている。平成11年6月30日、「常陽」での使用のために炉心燃料集合体が高燃料貯蔵室に搬入された。この搬入は、「常陽」遠隔監視システムを設置してからの新燃料の搬入であり、システムの各種の機能を試験する絶好の機会となった。「常陽」遠隔監視システムは、搬入作業中に、何ら問題なく順調に稼働し、多量のデータを取得した。図5は、その際に取得したデータの一部である。炉心燃料集合体を高燃料輸送コンテナから貯蔵ピットに移送する際に、新燃料貯蔵室内の側壁に設置した中性子センサが検知した中性子カウント数を示しており、3体の炉心燃料集合体が中性子センサの近傍を通過したことを明確に表している。

## 5. 透明性向上の観点からの考察

遠隔監視技術は、新しい保障措置の効率化策の一つとしてIAEAが中心となって精力的に技術開発を進めており、国内では、軽水炉での遠隔監視技術の導入をめざして原電東海2号機及び関電美浜1号機で技術開発を進めている。また、サイクル機構は、東海事業所のプルトニウム燃料製造施設

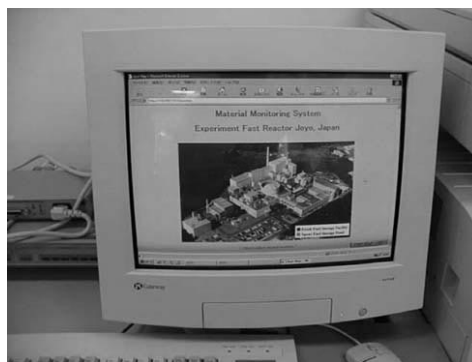


写真4 データ配信用コンピュータ

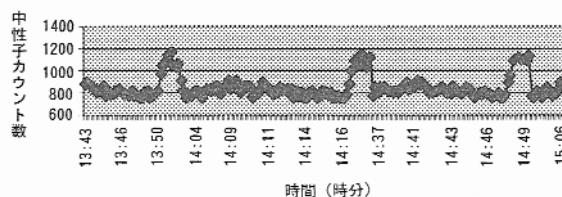


図5 新燃料貯蔵室における中性子測定結果

設において、非破壊測定に係る遠隔監視技術の開発をDOEと共同で行っている。これらの技術開発は、保障措置技術という観点から行っているものである。

「常陽」遠隔監視システムは、原子力平和利用の透明性を向上させる技術的手段としての有用性に着目して技術開発を進めており、本システムが、そのまま保障措置の技術として使用できるものではない。しかしながら、「常陽」遠隔監視システムの一つ一つの技術や設計概念は、将来的には保障措置の効率化に寄与するものである。例えば新燃料貯蔵室に設置したビデオカメラ（NTビジョン：米国エネルギー省ロスアラモス研究所製）やインターネットを利用した遠隔地からのデータ評価手法は、保障措置の効率化に寄与し得る技術である。

第 1 期、第 2 期の「常陽」遠隔監視システムの開発は、システム本体の機器類の開発・設置及びデータの取得が中心となっている。今後は、遠隔監視によって得られるデータを原子力平和利用の透明性向上にどのように利用していくかを検討する段階となる。サイクル機構とDOEは、平成12年度以降、遠隔監視データの処理・解析方法を主体とした共同研究を続けていくことを基本的に合意しており、現在、研究内容の詳細を両者で検討中である。

今後、遠隔監視技術を活用して原子力平和利用の透明性を向上させていくために検討しなければならない技術的課題は次のとおりである。

第 1 に、第 1 期の「常陽」遠隔監視システムは、個々のセンサが収集するデータを、それぞれのセンサごとに画面表示して、施設の詳細を理解した専門家が収集データの評価を行うことを基本としている。したがって、システム自体には、収集データの関連性や測定結果のパターンから総合的なデータ評価を行う機能はない。

遠隔監視対象施設内で定型の作業を行った場合に、各センサは、決められたパターンの反応を示すことが認められている（図5）。このことから、遠隔監視システムによって収集したデータから、施設内で行っている作業内容を、ある程度、推測することが可能となると考えられる。したがって、この推測が可能となれば、様々な作業の中から、定型作業を自動的に拾い出すことが可能となり、データ評価の容易化・省力化を図ることが可能となる。また、個々のセンサが収集するデータを総合的に評価することにより個々のセンサの動作異常の検出も一部可能となる。なお、データの自動

評価を行う際には、データ解析アルゴリズム自体の透明性も大切であり、わかりやすく複雑でないアルゴリズムの作成が重要である。

第 2 に、各種センサからのデータや画像情報をデータ評価用のコンピュータに画面表示する際に、それぞれのデータの関連性が容易に理解できる表示方法や技術的補足説明の必要性について検討を行うことである。

## 6. おわりに

「常陽」遠隔監視システムは、平成11年6月に主要な機器類の設置を終了し、稼動を始めている。現在、システムは、順調に稼動し、データの収集を続けている。

第 1 期のシステム開発で予定されている封印センサの機能試験及びインターネットを使ったデータへのアクセス試験は、未実施であるが、いずれも平成11年度末までには試験を終える予定である。平成12年度からは、第 5 章で述べた遠隔監視データの処理・解析方法に関する課題の検討を進めていく予定である。

6 月に実施した新燃料貯蔵室での適用試験では、炉心燃料集合体の新燃料貯蔵室への搬入及び室内作業の監視を行ったが、遠隔監視データから、作業に要した実時間、搬入した燃料集合体の数、室内での作業を推測することができ、またビデオカメラ映像でも作業内容の確認が可能であった。

今後、遠隔監視のデータを蓄積するとともに、データの処理・解析方法の検討を進め、遠隔監視技術が、原子力平和利用の透明性を向上させる有効な技術的手段であることを確認していくことが重要となる。

## 参考文献

- 1) 橋本 裕、マイケル・ロス、千崎雅生、茂渡敏則：「常陽」における遠隔監視システム 動燃技報 No.101, PNC TN1340 97-001 (1997.3).
- 2) Michael Ross, Yu Hashimoto, Masao Senzaki, Toshinori Shigeto : Cecil Sornier, Steven Dupree, Ken Ystesund and William Hale, "PNC/DOE Remote Monitoring Project at Japan's Joyo Facility," INMM 37th Annual Proceedings, Vol. XXV (July, 1996).
- 3) Yu Hashimoto and Richard Lucero : Japan Nuclear Cycle Development Institute. "Remote Monitoring Technology at the Experimental Reactor Joyo". The 1999 JNC International Forum on the Peaceful Use of Nuclear Energy - The Nuclear Fuel Cycle and Nuclear Non-Proliferation Technology. Tokyo, Japan.
- 4) Robert L. Martinez, Richard L. Lucero, Charlie Hamon, and Makoto Hashimoto. "Expanded Remote Monitoring System at the Experimental Reactor Joyo", INMM 40th Annual Meeting Proceedings, Vol. XXVIII. (July, 1999).