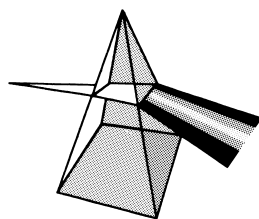


【技術報告】

資料番号：11-6



プルトニウム燃料第三開発室における非立会いNDAシステム用遠隔監視技術の開発

丸山 創 藤原 茂雄 浅野 隆* 高田 映*1 高橋 三郎 今野 廣一

東海事業所 プルトニウム燃料センター 技術部
 *東海事業所 開発調整室
 *原子力システム株式会社

Development of Remote Monitoring for Unattended Mode NDA in Plutonium Fuel Production Facility

Hajime MARUYAMA

Shigeo FUJIWARA

Takashi ASANO

Akira TAKADA

Saburo TAKAHASHI

Koichi KONNO

Technical Administration Division, Plutonium Fuel Center, Tokai Works

*Research and Development Co-ordination Section, Tokai Works

*1Nuclear Energy System Inc.

非立会い方式のNDAシステム用リモートモニタリングシステムは、査察者、施設者双方の更なる査察活動の効率化を図ること及び核物質管理の透明性向上を目的として、JNC/DOE共同研究のもとで開発したシステムである。このシステムは、非破壊測定データの遠隔監視技術に関連するハードウェア及びソフトウェアの機能及びその運用方法に関して実証を行うためのデモンストレーションシステムである。

本システムの実証試験は、1999年6月にIAEA東京事務所にて国及びIAEAに対して行っており、この中でNDAデータの遠隔伝送、伝送データのオーセンティケーション及び暗号化及びデータ評価ソフトウェアの機能確認が行われた。

A remote monitoring system for unattended mode NDA system at Plutonium Fuel Production Facility has been developed under the JNC/DOE joint study program in order to improve the efficiency of safeguards activities for operator and inspector, and to improve the transparency of material management. And this system is a prototype system for demonstrating functionality of hardware/software and procedure of the remote monitoring system.

The system demonstration test was carried out to JAEB and IAEA on June 1999 at IAEA Tokyo Office. In this demonstration, it was confirmed that function of data transmission of NDA data, authentication and encryption for transmitted data and data review software.

キーワード

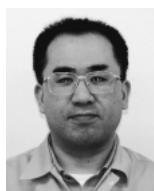
保障措置，保障措置強化・効率化計画，リモートモニタリング，遠隔監視，遠隔伝送，非破壊測定

Safeguards, Efficiency of SG activities, Remote monitoring, Remote transmission, NDA (Non-destructive assay)



丸山 創

核物質管理室 保障措置チーム所属
 研究員
 プルトニウム燃料施設の保障措置技術開発にかかわる業務に従事



藤原 茂雄

核物質管理室 保障措置チーム所属
 チームリーダー
 プルトニウム燃料施設の保障措置技術開発にかかわる業務に従事
 核燃料取扱主任者



浅野 隆

開発調整室所属
 研究員
 東海事業所で行う研究開発にかかわる実施計画の立案、推進及び業務執行の調整



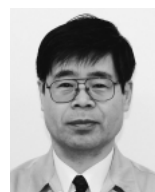
高田 映

核物質管理室 保障措置チーム所属
 プルトニウム燃料施設の保障措置技術開発にかかわる業務に従事



高橋 三郎

核物質管理室長
 プルトニウム燃料施設にかかわる核物質管理に関する業務に従事



今野 廣一

検査課長
 「もんじゅ」常陽及び「ふげん」燃料の検査業務及び検査業務総括
 核燃料取扱主任者
 第一種放射線取扱主任者

1. はじめに

保障措置情報の遠隔監視技術は、保障措置の効率を向上させるための開発課題として、IAEAの保障措置強化・効率化計画と位置付けられている。また、この開発は、施設者側にとっても査察活動の負荷の低減及び核物質管理の透明性の向上に寄与する点で有効である。

保障措置情報のうち封じ込め・監視(C/S)情報用の遠隔監視技術は、IAEAでシステムの開発・実証が行われており、日本においても原子炉サイト等でシステムの実証試験が行われている。一方、NDA(Non Distractive Assay System:非破壊測定システム)情報の遠隔監視技術の開発は、その必要性は認識されていたものの、システム開発は実施されていなかった。

そこで、プルトニウム燃料センターでは、米国エネルギー省(DOE)との保障措置技術開発に関する協力協定のもと、プルトニウム貯蔵庫に導入されているNDAシステム(PCAS:Plutonium Canister Assay System)を対象とした遠隔監視システムの開発を実施した。本件は、そのNDAデータ用遠隔監視システムの開発について報告する。

2. 遠隔監視技術の開発計画

プルトニウム燃料第三開発室(PFPF:Plutonium Fuel Production Facility)では、査察活動の施設操業への影響を最小限とすべく、査察官非立会い方式のNDAシステム及びC/Sシステムを導入している。これらのシステムは24時間連続で稼働して

おり、核物質の移動、監視エリアへの人のアクセスなどを無人で監視できるようになっている。通常、これらのデータに関しては、査察時に国及びIAEAの査察官が現場に赴き、NDAデータ、C/Sデータを収集している。その後、会議室等に設置されているコンピュータ等を用い評価解析を行うことによって、当該期間の検認を行い、転用のなかったことを確認している。これらのシステムについて、遠隔監視システムを付加することにより、査察時における現場へのアクセス回数が低減可能となり、ひいては、施設への訪問を不要とする。その結果、査察期間の短縮も可能であり、更なる査察活動による施設操業への影響を低減することが可能である。また、これらデータを査察側で適宜監視することにより、核物質管理の透明性が向上する。既存システム及び遠隔監視システム導入後のシステムの比較を図1に示す。

PFPFでは、保障措置データ遠隔監視技術を3段階に分けて開発を行うこととした。

第一段階は、NDAデータの遠隔監視システムの開発である。ここでは、NDAシステムに遠隔監視技術を適用するために、ハードウェア及びソフトウェアの新たな開発を行うと共に、遠隔監視システムの運用方法に関する検討を行う。この技術開発は、1997年度よりロスアラモス国立研究所(LANL:Los Alamos National Laboratory)と共同で実施した。

第二段階は、C/Sデータ(画像データ)用遠隔監視システムの導入である。IAEAではすでに遠隔

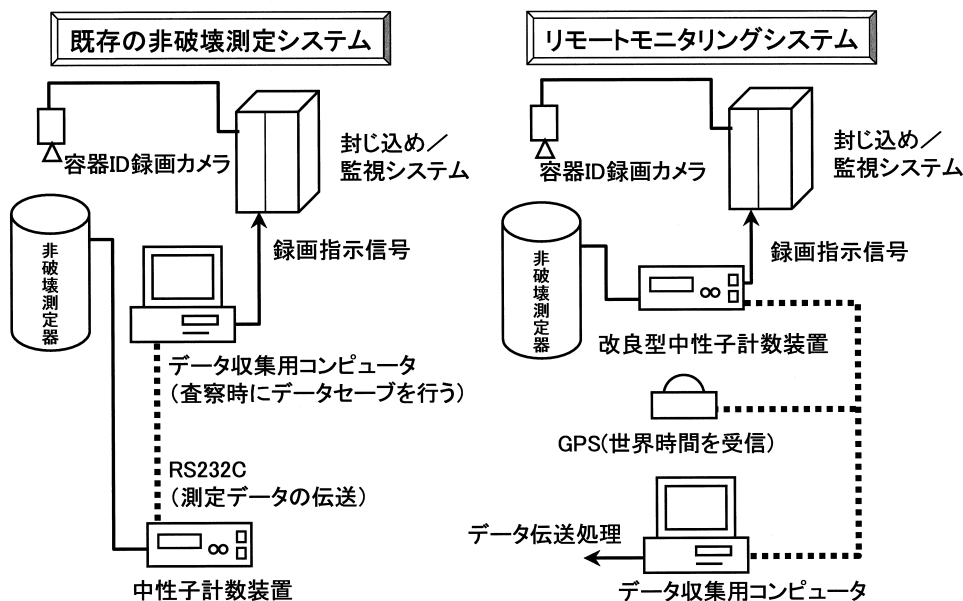


図1 既存システムとの比較

監視システムに対応したデジタルC/Sシステムの開発を実施しており、現在、原子炉等において実証試験を開始している。このため、第二段階では、このIAEAのシステムの導入し機能確認を行う予定である。現在の予定では、2001年度中頃にシステムを導入し機能確認試験を実施する予定となっている。

第三段階は、NDAデータ及びC/Sデータの統合遠隔監視システムの開発を行う。ここでは、第一段階及び第二段階で開発したシステムの統合化を行い、データ評価ソフトウェアの高度化を図ることを計画している。

3. NDA用遠隔監視システムの開発

まず開発に当たり、NDA情報用遠隔監視システムでの開発課題を整理し、それに応じた新たなハードウェア及びソフトウェアの開発及び各種既存技術が採用可能か検討を行った。

3.1 開発課題

検討の結果、遠隔監視システムの構築のためには以下のような条件を満たす必要があった。

(1) 伝送データの真証性及び防護機能

遠隔監視システムでは、直接測定装置からデータを取得するのではなく通信回線を通じて遠隔地でデータを取得する事になる。したがって、その間でデータの改ざん等不正な処理が行われていないかを確認する真証性機能が必要となる。また、伝送するデータは、保障措置上機微情報として扱わなければならない。よって、データの遠隔伝送にあたっては、データを暗号化する等の防護機能が必要となる。

(2) 効率的なデータ伝送方法

現行の通信機器における伝送速度、コスト等を比較検討し効率的なデータ伝送方法を採用する。

(3) データ収集用コンピュータの負荷の低減化

遠隔監視システムにおけるデータ収集用コンピュ

ータは、測定データの収集に加えて各機器の稼働状況の把握、データ遠隔伝送処理等これまでよりも負荷が増大する。よって、この負荷を低減するために、一部機能の分散を行う。

(4) 各構成機器の稼働状態の適時把握

測定器が設置されている場所へのアクセスなしに、各機器の稼働状況の把握を行う。

(5) 各構成機器の時間同期を図る

遠隔監視システムで、すべてのイベント(NDA、録画指示信号の発信、データの遠隔伝送、機器異常の発生等)は、時間情報によって管理されているため、システム構成機器の時間同期を図ることが、重要な要件の一つとなっている。各イベントと施設者側で提供する申告情報に対し時間をキーとしてデータの比較及び評価が行われる。システム構成機器以外にも、情報の受信地(査察側東京事務所、ウィーンIAEA本部)と同期を図るために、この時間情報が使用される。

(6) 各機器間のデータ通信技術の高度化

遠隔監視システムでは、複数のNDAシステムからの測定データ、録画指示信号、各機器の稼働状況情報等の送受信を行う。従って、データ通信手法はEthernetを基本として高度化を図る必要がある。

(7) 情報評価ソフトウェアの高度化(統合化)

遠隔監視システムでは、送られてくる膨大な量の測定データを効率的に処理をしなければならない。そこで、測定結果の評価を短時間で効果的に行うために、評価ソフトウェアの高度化(統合化)を図る必要がある。今回は、

測定結果と申告情報の自動比較評価

レビューソフトウェア間のデータ通信の自動化

の2点について行う。

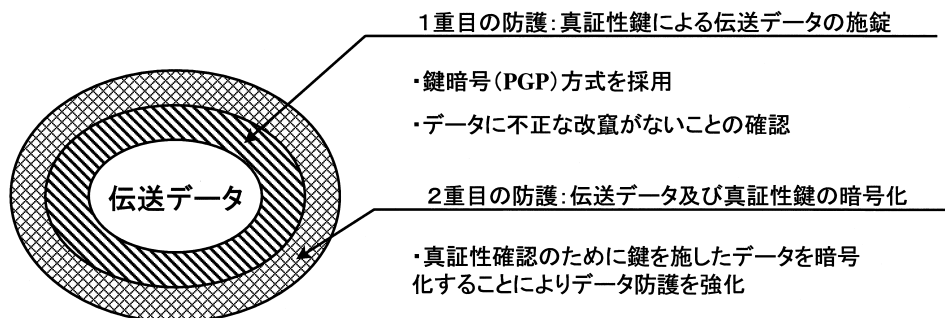


図2 真証性及び防護機能

3.2 各機器・ソフトウェアの開発

(1) 伝送データの真証性及び防護機能の開発

本システムでは、伝送データを図2のように鍵方式の暗号化技術を基に二重に暗号化し、データの真証性及び防護対策を施した。一重目は、真証性機能で、データ発信側（データ収集用コンピュータ）でデータに鍵を施し、これと同じ鍵を受信側（データ評価用コンピュータ）でも保有する。これにより、鍵が不正に開けられていないことを確認することで、データの真証性が確認される。二重目は、データ防護機能で、伝送データと真証性確認のために鍵を施したデータを暗号化することによりデータの防護を行う。これにより、データを不正に受信したとしても暗号の解読ソフトが無ければ、そのデータは防護される。

また、通信回線を通じた不正なアクセスにより保障措置データを第三者が取得する可能性に対抗する手段としての防護についての考慮も必要となる。そこで、国及びIAEAとの協議し、IAEAにて開発し、米国 Aquila 社で製造されている NT Communication Server を導入した。

(2) データ伝送方法の検討

現在、供給可能な伝送方法に関するコスト評価、通信速度等の比較した結果を表1に示す。

これらの比較より、今回のシステムでは、取り扱うデータが NDA データで比較的少量のデータ伝送であること及び導入作業の容易さを勘案して、アナログ回線またはデジタル回線の使用が適しているとの結論を得た。一方、保障措置情報の真証性確認及びデータ防護機能に関し、IAEAにて開発済みのシステムを導入することが IAEA より要求されたが、そのシステムは現状アナログ回線だけ

に対応していた。従って最終的にアナログ回線をデータ伝送方法として採用することとした。

(3) データ収集用コンピュータの負荷の低減化

データ収集用コンピュータの負荷の低減化を図るため、改良型中性子計数装置(ISR: Intelligence Shift Register)の開発を行った。

既存 NDA システムでは、中性子計測装置とデータ収集用コンピュータは常に通信状態にあり、データの遠隔伝送及び機器の稼働状況の把握にかかわる処理を実行することが困難である。これに対して ISR は、測定データを蓄積するためのデータバッファを有しており、データ収集用コンピュータがデータの遠隔伝送処理等を実行している間、測定データを蓄積することが可能である。この他、データ収集用コンピュータの負荷を低減するために、これまでデータ収集用コンピュータで行っていた C/S システムへの録画指示信号の発信機能も有している。

なおこの ISR は、中性子同時計数法用の計数装置であるだけでなく、基板を追加することによりマルチプリシティー法(スクラップ測定に使用)にも適用することが可能な汎用性のある計数装置として開発された。

(4) 各構成機器の稼働状態の適時把握

遠隔監視システムでは、各機器の稼働状況に関しても遠隔で適宜把握出来る機能が必要となる。MIC(Multi Instrument Collect Software)は、単一の情報収集用コンピュータで複数の測定情報を管理するために開発したデータ収集用ソフトウェアである。MICでは、各機器への電力供給停止、ネットワークの異常、時間同期不良等の異常が発生した場合、画面上にその異常に応じたグラフィ

表1 各種データ伝送方法の比較

通信手段	アナログ回線	デジタル回線 (ISDN)	ワイドエリアネットワーク (WAN)	衛星通信
通信速度	56kbps	128kbps	~数 Mbps	~数 Mbps
初期経費 (1施設分)	約106,000円	約150,000円	-	約12,000,000円
月毎経費 (1施設分)	約3,000円	約3,600円	-	約518,000円
通信費 (1時間の通信)	国内 約1,700円	国内 約1,700円	-	(月ごと経費に含まれる)
利点	・導入が容易かつ安価 ・画像用リモートモニタリングシステムでの使用実績有り	・導入が容易 ・通信速度が高速 ・安定した通信速度	・通信費が無料 ・災害時に強い	・災害時に強い ・複数の地区でデータ受信可能 ・通信コスト一定
欠点	・雑音に弱い ・回線の品質により通信速度の制限	・海外の一部地域で使用できない	・セキュリティ対策が必要 (Fire Wall, Mirror Server 等) ・通信速度が回線の状況により変化	・通信に時間差 ・ウィーンへの直接通信は不可能 ・初期経費及び通信費が高価
メンテナンス必要性	なし	なし	必要	必要
将来性	ADSL の普及により高速通信が可能	なし	光ファイバーの普及により高速通信が可能	なし

カルなキャラクターを表示することにより、使用者にその状況を知らせる機能を有している。また、MIC 自身への電力供給が停止し、システムがダウンした場合でも、電力の再供給にともない、システムが自動復帰する機能も有している。このソフトウェアは、将来のシステム拡張に伴う測定装置の増加に対しても、改良にかかわる作業量を最小限に押さえるために、ソフトウェアの拡張性を考慮したもとなっている。

(5) 各構成機器の時間同期

PFPF のシステムでは、導入が容易でありかつ正確な時間情報を容易に入手することのできる GPS (Global Positioning System) アンテナを施設屋上に設置した。この衛星から送られてくる世界標準時間を元にシステム全体の時間同期を図っている。

(6) 各機器間のデータ通信技術の高度化

遠隔監視システムでは、単一のデータ収集コンピュータに複数の機器の接続を行うとともに各機器間での情報の送受信が必要である。これに対応するためのネットワーク技術として、Echelon LON™ 技術を採用した。今回開発した ILON (Intelligence Local Operation Network) は、Echelon LON™ 技術をベースに、各機器の時間同期や C/S システムへの録画指示信号の伝送等に関して情報収集用コンピュータの負荷を低減するために新たに改良されたものである。

(7) 情報評価ソフトウェアの高度化 (統合化)

データ評価ソフトウェアは、三つのレビューソ

フトウェアとこれらを総合的に管理するソフトウェアから構成される。

1) レビューソフトウェア

レビューソフトウェアは、図 4 に示すようにそれぞれが独立の機能を有する。それらはセル構造として構築されており、システムの構成機器及び評価方法に応じて構成を変えることができる。本システムでは、NDA データを評価するために必要なソフトウェアを選択的に構築したが、更に C/S システム評価ソフトウェアや各種放射線センサーの評価ソフトウェアを組み込むことも可能であり、将来の拡張性を十分に考慮したソフトウェアとなっている。

Radiation Review Software と INCC Software は、既存ソフトウェアであり、本システム用に若干の改良を加えたものである。Operator Review Software 及び PFPF Integrated Review Software は、測定データの評価作業の効率化を図るために、新たに開発したソフトウェアである。

2) 総合管理ソフトウェア

これまでの NDA データの評価は、Radiation Review software と INCC software による評価を独立に行っており、それぞれに対してデータ入力を行っていた。このため、データの評価に時間を要すると共に、総合的な評価結果の確認が容易にできなかった。そこで、本システムでは、図 5 のように上記三つのレビューソフトウェア間でのデータのやりとりを PFPF Integrated Review Software によ

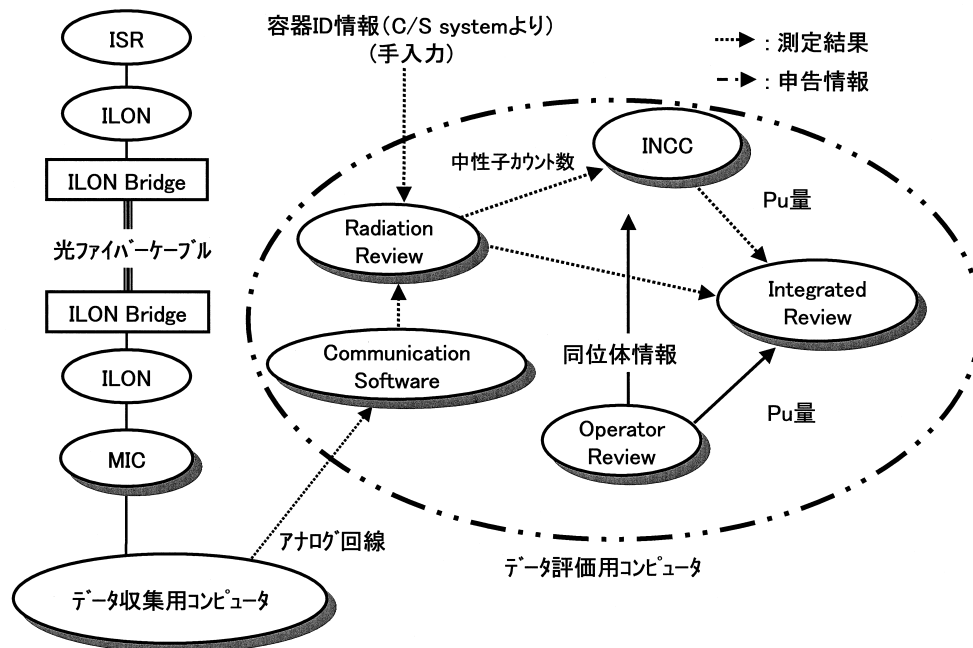


図4 レビューソフトウェア

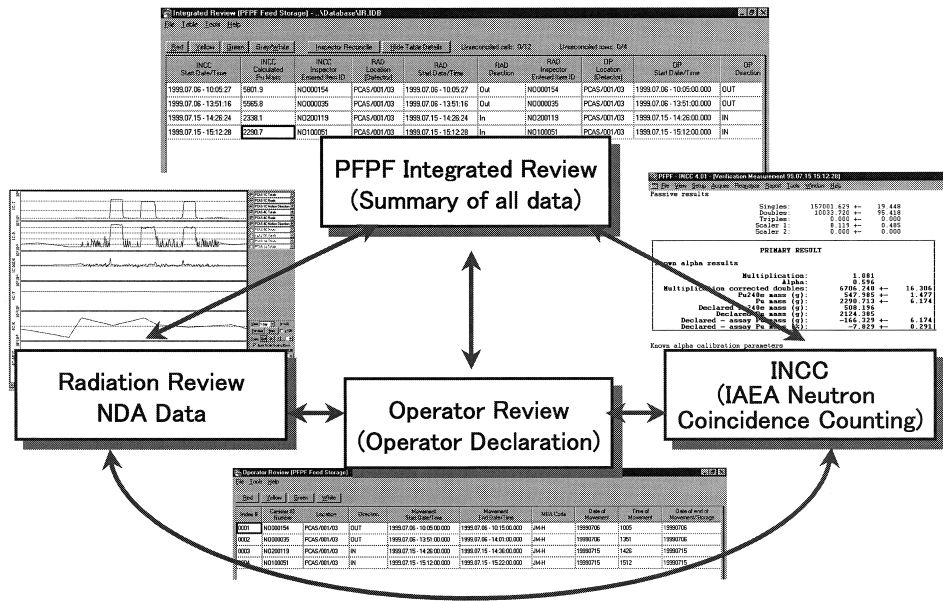


図5 総合管理ソフトウェア

り自動処理することにより、データ評価時間の短縮を図った。また、申告情報と評価結果の比較の自動化・すべての評価結果の一元的管理により、測定データの総合的な評価が容易にできるようになった。

3.3 システム導入

第二段階のシステムは、図6に示すように実際に保障措置機器として運用されているNDAシステムの測定データを利用したデモンストレーションシステムである。このシステムの適用対象とした

PCASは、プルトニウム貯蔵庫で、貯蔵容器中のプルトニウム量の測定を行うシステムである。第二段階では、現状の保障措置システムの基本構成を変更することなく、測定信号だけを分岐し、その測定データを遠隔監視することを目標として実施した¹⁾²⁾。

4. システム実証試験

システムの国及びIAEAに対する実証試験を、1999年6月にIAEA東京事務所にて実施した。この実証試験では、実際の核物質の測定をPFPF

プルトニウム燃料センター

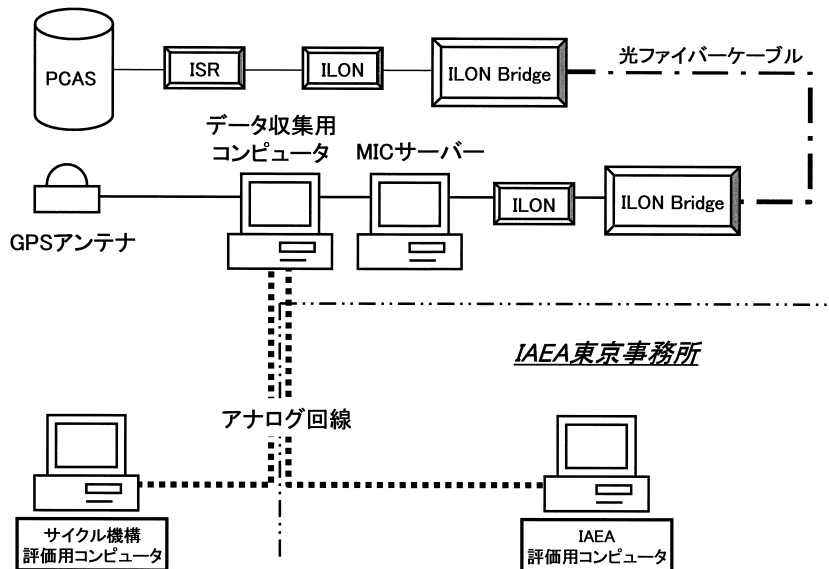


図6 実証試験におけるシステム構成

で行い、そのデータを IAEA 東京事務所から遠隔操作でデータを取得し、評価・解析を行うという方式で行った。この中で、NDA 情報の伝送、真証性確認及びデータ防護、データ評価ソフトウェアの機能確認試験を行い、それぞれが十分に機能していることを確認した。また、データ評価ソフトウェアについても、PFPF Integrated Review Software により多くの測定データ、申告データを一元的に管理することができ、保障措置データの評価作業の効率化が本システムにより達成可能であることを実証した。

5. フィールド試験の経過

実証試験以降、連続運転による試験を継続しており、この中で本システムを保障措置システムとして適用するための課題及び運用手順（トラブル対応等を含む）等に関する検討を実施している。現在までのトラブル事例について表 2 に示す。ハードウェア（ILON・ISR 等）の動作不良によるトラブル、ソフトウェアや制御用ファームウェアのバグによるトラブルが数件発生したものの、ハードウェアの更新、MIC ソフトウェア・各機器の制御用ファームウェアの更新を行ったところ、2000 年 3 月以降、トラブルは発生していない。

このことから、システムとして十分な信頼性を有していることが確認できた。

6. 更なるセキュリティの強化

実証試験、フィールド試験において用いた専用電話回線の使用、パスワードによるユーザーの承認、データの暗号化によりセキュリティは確保で

きると考えていた。しかし、その後 IAEA より、更なるセキュリティ強化の提案があり、RSA セキュリティ社製の ACE/Server を導入した。

このソフトウェアは、二要素承認システムを用い強固なユーザー承認を確保している。まず、一要素は、各個人に設定された PIN コード（暗証番号）である。もう一要素は、各個人に配布されている SecurID カードに発生するパスワードである。これは、時間情報、各機器固有のアルゴリズムから計算され、1 分ごとに、一度だけ使用可能な 6 桁のランダムなワンタイム・パスワードを発生させるものである。そのため、パスワード・アタックや盗聴による情報漏洩に対し非常に強固なセキュリティを確保できる。これら二要素の承認より、システム全体に高度な信頼性を確保することができる。

7. 遠隔監視システムの将来計画

第三段階として、NDA 情報、C/S 情報を統合化したシステム（図 7 参照）を、PFPF に導入することが、国、IAEA、サイクル機構間で合意された。本システムを導入することにより、プルトニウム貯蔵庫におけるすべての保障措置情報が遠隔監視されることとなり、将来本システムが保障措置システムとして適用されれば、査察にかかわる作業を施設側で実施することが不要になる。

しかし、第三段階のシステム導入のためには、いくつかの課題が残っている。NDA データの場合、約 1 ヶ月ごとの査察での情報量は数メガバイト程度である。これに対して、C/S データは、画像情報がそのほとんどを占めていることから 1 ヶ月あ

表 2 フィールドテストにおけるトラブル事例

日付	事象	原因	処置	結果
1999年 8 月	・ MICの画面上にエラーメッセージ ・ PCAS#1 のデータが1999年 8 月 4日以降、保存されていない	・ PCAS#1 用の ISR 故障の可能性	・ ISR を予備品と交換	・ 正常に復帰
1999年10月	・ MICの画面上にエラーメッセージ ・ PCAS#1 のデータが1999年10月 16日以降、保存されていない	・ PCAS#1 用の ISR・ILON 故障の可能性	・ ISR・ILON とも機能は正常 ・ 再起動を実施	・ 正常に復帰
1999年11月	・ MICの画面上にエラーメッセージ ・ PCAS#4 のデータが1999年10月 26日以降、保存されていない	・ PCAS#4 用の ISR・ILON 故障の可能性	・ ISR・ILON とも機能は正常 ・ 再起動を実施	・ 正常に復帰
1999年11月	・ レビュー時にファイル読み込みエラーが発生	・ データ上の破損ファイルが原因	・ サーバー上の破損ファイルを破棄	・ 正常に復帰
2000年 1 月	・ レビュー用コンピュータとサーバー間の通信不良 ・ サーバー上のデータが1999年12月 23日以降更新されていない	・ サーバー異常の可能性	・ 各機能ともに正常 ・ サーバーの再起動	・ 正常に復帰
2000年 2 月	・ サーバー上のデータが2000年 2 月 1日以降更新されていない	・ サーバー異常の可能性	・ 各機能ともに正常 ・ サーバーの再起動	・ 正常に復帰

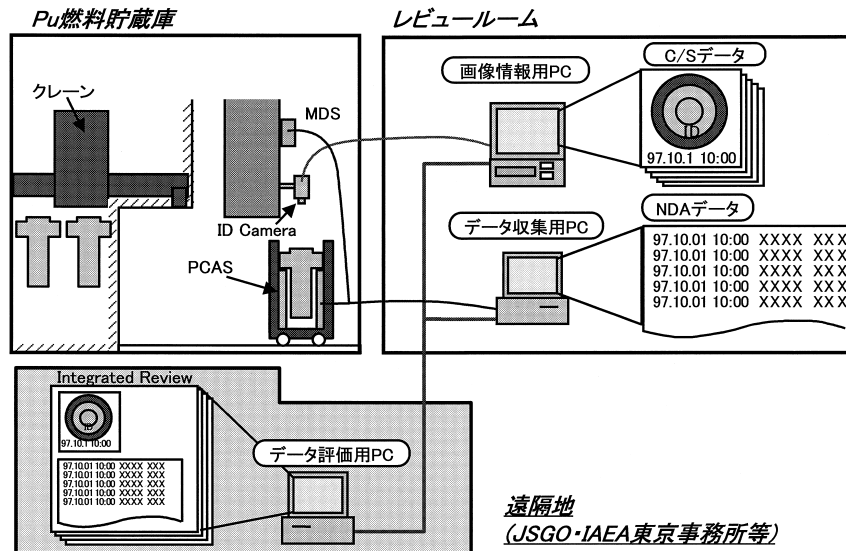


図7 遠隔監視システムの将来計画

たり数ギガバイト程度となることが予想される。このため、通信速度（通信コスト）が問題となる。NDA用遠隔監視システムでは、公衆回線を通信手段として採用したが、第三段階のシステム導入にあたっては、再度通信方法の検討が必要である。しかし、通信方法をデジタル回線やインターネット等の高速通信に変更したとしても、伝送頻度を月1回とした場合、伝送に要する時間は長時間となり、通信手段の変更のみならず、通信頻度も再度検討する必要がある。また、遠隔監視システムでは、データ伝送を行う前に、必ず施設側より申告情報を査察側に提供することが求められている。しかし、データの伝送頻度を増やすことは、申告情報の提供にかかわる作業を頻繁に行うことを意味し、施設側の作業量の増加につながる恐れがある。よって、査察側に対していかに効率的に申告情報の提供を行うかの検討も必要となる。

8. おわりに

今回開発したシステムは、NDA情報用遠隔監視技術の実証を目的とした実証試験用システムであり、国及びIAEAに対する実証試験を成功裡に終了したことで、初期の目的を達成することができた。今後、第三段階のシステム開発・導入に向けて、国及びIAEAと協議を行っていくことを予定している。

参考文献

- 1) Koichi Asakura, Mark E. Abhold et al. "Development of Remote Monitoring System for the Unattended Mode NDA in PFPF" Proceeding of INMM 39th Annual meeting, July 26-30 (1998)
- 2) Takashi Asano, Mark E. Abhold, et al. "Development of Remote Monitoring for Unattended Mode NDA in PFPF (Phase II)" Proceeding of INMM 40th Annual meeting, July 25-29 (1999)