

東海再処理工場における溶液測定 モニタリングシステムの開発・設置

佐藤 武彦 山中 淳至 鹿志村卓男 山本 徳洋
東海事業所 再処理センター 処理部

Development and Installation of Solution Measurement and Monitoring System (SMMS) at TRP

Takehiko SATOH Atsushi YAMANAKA Takao KASHIMURA Tokuhiko YAMAMOTO

Reprocessing Operation Division, Reprocessing Center, Tokai Works

1995年、IAEA は保障措置の強化・効率化の枠組みのなかで東海再処理工場に対し、保障措置の改良計画（11タスク）を提案した。その一つが主要槽の溶液測定モニタリングシステム（SMMS）の開発・設置であり、JASPAS のタスク（JA 6）として開発が行われた。SMMS は1999年に設置工事及びIAEA による受入れテストを終了し、現在、連続運転試験中である。

SMMS の目的は、入・出量計量槽（各1基）及びプルトニウム製品貯槽（7基）とこれに付属するポット（1基）に対する IAEA の独立測定システムの開発にあり、システム及び測定データの信頼性を確保・維持するための様々な機能を有している。

The IAEA proposed TRP safeguard improvement plans in 1995 for closer and more efficient safeguards of TRP. Development of Solution Measurement and Monitoring System (SMMS) is one item of the plans and has been carried out under the JASPAS program as JA-6. Following to the IAEA's acceptance test, after the installation of the SMMS in 1999, field test of this system has been carried out.

The main purpose of the SMMS is to establish the IAEA's independent monitoring system.

Besides input and output accountability tanks, seven Pu storage tanks and a pot attached to the Pu storage tanks are monitored continuously, and solution level, density and temperature data of these tanks are recorded by the SMMS. Authentication of the SMMS, confirmed by the IAEA at the acceptance test, is kept by failure detection and recording functions of the system.

キーワード

溶液，測定，モニタリング，保障措置，IAEA，オーセンティケーション，タンパープルーフ，液位測定，封じ込め，監視，プルトニウム，計量槽，製品貯槽，再処理

Safeguards, IAEA, Solution, Measurement, Monitoring, Authentication, Tamperproof, Containment, Surveillance, accountability, Plutonium, Storage, Reprocessing, TRP



佐藤 武彦
抽出チーム所属
研究員
抽出工程，Pu濃縮
・貯蔵工程，サン
プリング工程の運
転管理に従事



山中 淳至
抽出チーム所属
技術員
抽出工程，Pu濃縮
・貯蔵工程，サン
プリング工程の運
転管理に従事



鹿志村卓男
抽出チーム所属
チームリーダー 副
主任研究員
抽出工程，Pu濃縮
・貯蔵工程，サン
プリング工程の運
転管理に従事



山本 徳洋
化学処理第二課課
長
核燃料取扱主任者，
第一種放射線取扱
主任者

1. はじめに

東海再処理工場 (TRP: Tokai Reprocessing Plant) における保障措置上重要な槽の液位等を連続的に測定・記録する溶液測定・モニタリングシステム (SMMS: Solution Measurement and Monitoring System) の前身は、「Pu 操作区域監視システム」であり、TASTEX (Tokai Advances Safeguards Technology Exercise) の一つである Task 1 として 1978~1981 年に開発・設置された。しかし、このシステムはバルブの開閉信号など取扱うデータ量が多いため査察使用上、実用的ではないこと、及び必要以上に運転ノウハウにかかわるデータにアクセスすることから、これらの問題を解決するため引き続き JASPA (Japan Support Program for Agency Safeguards) のタスク (JA 3) として 1982~1989 年に新システムの開発が引き継がれた。この JA 3 システムは取扱うデータをプルトニウム製品貯槽等の液位、密度及び温度に限定したもので、1998 年まで実証運転を継続してきたものの、IAEA (International Atomic Energy Agency) によるシステム及び測定データに対する信頼性の確保、つまりオーセンティケーション (知識の検

証) がなされていないことから査察機器として実用に供するには至らなかった。また、近年においては、JA 3 システム自体の老朽化が問題となった。

この結果、主要な槽を対象として、オーセンティケーション機能を付加した IAEA の独立測定システムを TRP 保障措置改良計画のタスク¹⁾ 及び JAS-PAS タスク (JA 6) として新たに開発することとなった。このシステムが溶液測定・モニタリングシステムであり、IAEA の要求を基に、1995 年に基本設計を開始し、詳細設計、機器製作を経て 1999 年に設置工事及び IAEA による受入れテストを終了した。現在、本システムの連続稼動試験を実施中である。

2. SMMS の測定範囲と工程の概要

再処理工程の概要と SMMS の測定範囲を図 1 に示す。SMMS の測定対象となる槽には流れの主要測定点である入量計量槽とプルトニウムについての出量計量槽、及び在庫の主要測定点である七つのプルトニウム製品貯槽とサンプリングポットがある。

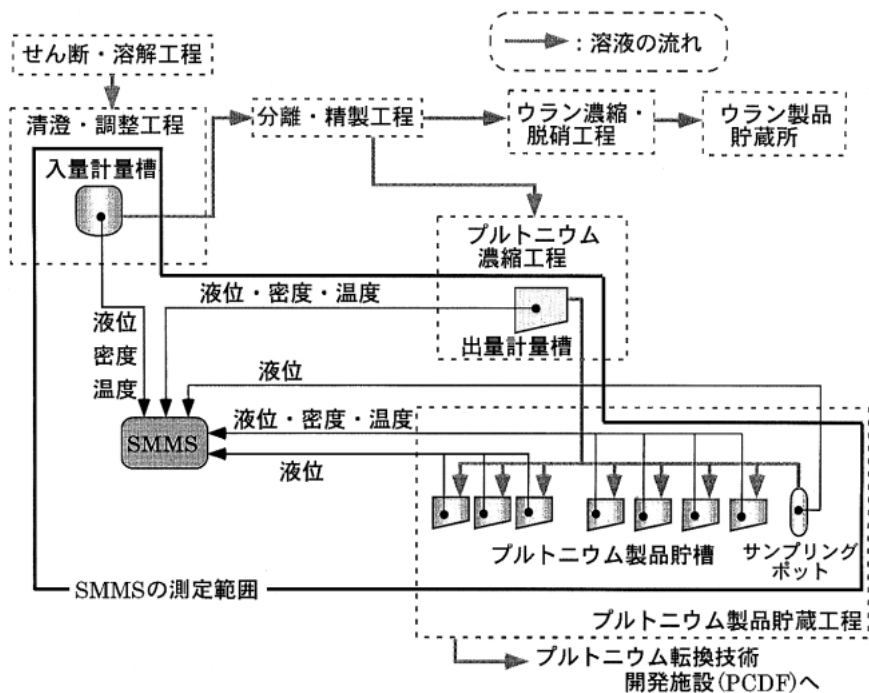


図 1 工程概要と SMMS の測定範囲

入量計量槽はせん断・溶解後の使用済燃料を、分離・精製工程に送液する前に溶解液を計量する槽である。また、出量計量槽は分離・精製工程で回収された硝酸プルトニウム溶液をプルトニウム

溶液蒸発缶で蒸発濃縮した後、プルトニウム製品貯槽へ送液する前に計量する槽である。これら二つの計量槽においては計量の都度、IAEA 及び国の査察官立会の下、液位測定やサンプリングが行わ

れている。SMMS は入量及び出量計量槽について、液位、密度及び温度を測定・記録している。

七つのプルトニウム製品貯槽は、金属プルトニウム換算で最大1000kgのプルトニウム貯蔵能力を有する。これらの製品貯槽からは、再処理工場に隣接するプルトニウム転換技術開発施設 PCDF : Plutonium Conversion Development Facility)への製品の払出しを行えるほか、バルブの開閉操作により製品貯槽間の移送も行える。これらのプルトニウム製品貯槽においても、中間在庫検認、実在庫検認及びPCDFへの払出しの際には査察官立会の下液位測定とサンプリングによるプルトニウム濃度及び密度の測定が行われている。このサンプリングの際にはサンプリングポットを経由した製品貯槽内溶液の循環操作を行い、ポット内溶液をサンプルとして採取している。SMMSは七つのプルトニウム製品貯槽のうち4槽について液位、密度及び温度を測定・記録し、密度計及び温度計が設置されていない三つの貯槽及びサンプリングポットについては、液位のみ測定・記録している。

3. SMMS の概要

3.1 システムの主要構成機器

本システムは、大きく分けて上位システム（コンピュータによる記録・表示機器関係）と下位システム（測定機器及びその制御機器関係）から成

表 1 SMMS の主要構成機器とその役割

| 主要構成機器 | 役割 | |
|--------|-------------------------|---|
| 上位システム | データ収集コンピュータ (DCC) | <ul style="list-style-type: none"> PLC との通信 データロギング アラームの記録 データ表示 演算時間設定 自動終了/再起動 |
| | JNCコンピュータ | <ul style="list-style-type: none"> データ表示 トレンド表示 自動終了 |
| | 国及びIAEAコンピュータ | <ul style="list-style-type: none"> DCCからのデータの読み込み |
| 下位システム | プログラマブルロジックコントローラ (PLC) | <ul style="list-style-type: none"> DCC との通信 入/出力処理 測定データ演算 運転管理 バルブ制御 アラーム管理 |
| | 高精度圧力測定器 | <ul style="list-style-type: none"> 差圧測定 |
| | 差圧電送器 | <ul style="list-style-type: none"> 差圧測定 |
| | 測定信号選択装置 | <ul style="list-style-type: none"> 測定対象槽の選択 |

る。両システムの主要構成機器とその役割を表 1 に、SMMS の全体概要図を図 2 に示す。

3.2 測定方法

各槽の液位及び密度は槽内に設置された 1 対のディップチューブにより背圧として測定される。プルトニウム製品貯槽では、三つ又は四つの製品

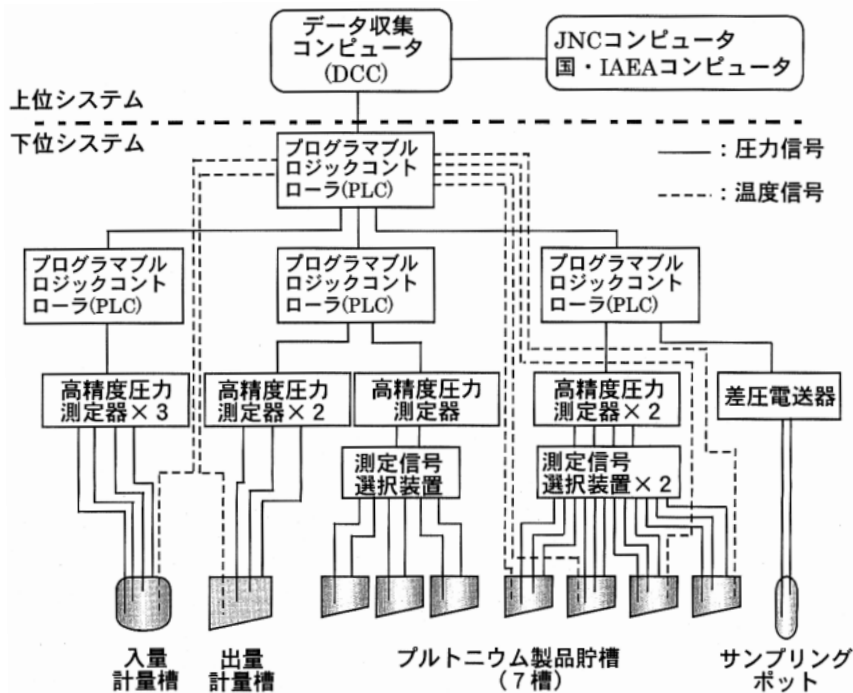


図 2 SMMS の全体概要

貯槽からの圧力信号は一つの測定信号選択装置に接続されている。測定信号選択装置はこれらの複数の圧力信号を一定周期で順次選択し、高精度圧力測定器に伝える。測定信号選択装置の採用により、高精度圧力測定器の台数の削減が可能となり、コスト及びメンテナンス・校正労力の削減が図られている。測定信号選択装置はシステム全体で3台設置されており、入・出量計量槽においては、より連続的な測定を行うため、測定信号選択装置は設置されていない。高精度圧力測定器は、システム全体で8台設置されており、測定精度は $\pm 0.02\%$ F.S. (± 7 Pa)、測定頻度は0.8回/秒となっている。また、高い測定精度を必要としないサンプリングポットからの背圧は差圧伝送器を用いて測定している。

プログラマブルロジックコントローラ(PLC)は高精度圧力測定器からの測定結果を受け、複数回の測定結果から液位又は密度の平均値及び標準偏差の算出を行う。この平均値等の算出のための測定回数は4回~24回(測定時間として5秒~30秒)の間で設定が可能であり、これに合わせて測定信号選択装置が槽の選択を行っている。演算結果は光ケーブルにより上位システムであるデータ収集コンピュータ(DCC: Data Collection Computer)に送信され、データの表示とともに、30秒ごとに全貯槽の測定データの記録が行われる。

槽内溶液の温度は槽内に設置された熱電対により測定される。熱電対からの熱起電力は補償導線を介してPLCにおいて温度信号へと変換され、平均値及び標準偏差が算出された後、DCCにて表示及び30秒毎の記録が行われる。

DCCからは、随時最新の測定データがサイクル機構用コンピュータ(JNCコンピュータ)に送信されている。JNCコンピュータは、測定データの変動状況をグラフ化して表示する機能とともに、アラームの発生状況、システムの稼働状況を表示する機能を持つ。また、DCCは国及びIAEAコンピュータとも通信ラインを持ち、これらのコンピュータからも記録データの読み込みが行える。これら2台のコンピュータは、管理区域外の査察官室にあり、査察官はSMMSとの通信により管理区域に入域することなく最新の測定データの確認が行える。

4. SMMSの機能

4.1 測定関連機能

SMMSは健全な測定を維持するため、または測定上の異常を検知するため以下の機能を有してい

る。

(1) 停電対応

SMMSは、施設において不測の停電が発生した場合、施設の非常用発電機からの給電が開始されるまでの時間(20秒以内)を補うために無停電電源装置(UPS: Uninterruptible Power Supply)を有している。

しかし、何らかの原因により非常用発電機からの給電が開始されなかった場合、UPSの許容バックアップ時間を超えることによりコンピュータが突然停止し、ハード及びソフト上の故障が発生する可能性がある。これを防止するため、UPSの許容バックアップ時間を超える前にDCC及びJNCコンピュータは正規の手順にて自動的に停止し、これに伴いUPSからの電源バックアップも中断される。この場合、電源の復旧にともない、システムはこれを検知し、自動的にシステムの再起動及び測定の再開を行う機能を有している。

(2) ゼロ点自動測定

高精度圧力測定器の性能を維持するために、SMMSは毎日一定時刻に自動的に高精度圧力測定器のゼロ点測定を行っている。このとき、ゼロ点のずれが許容範囲を超えていた場合、アラームが発報・記録される。また、ゼロ点測定は、DCCから命令することにより、任意の時刻に実行することも可能である。

(3) 機器関連アラーム

SMMSはシステム内の各機器の異常検知を行っており、停電の発生も含めほぼすべての測定機器やコンピュータ、通信ラインについての異常を検知し、アラームを発報・記録することが可能である。そのほとんどがPLCにより検知されるが、PLC自身の異常を検知するために、DCCとPLCは、一定周期で相互に信号をやり取りし、監視し合うことによりお互いの健全性を確認している。また、同様の相互監視はDCCとJNCコンピュータ間でも行われている。JNCコンピュータに異常が生じた場合には、通信上の異常がDCCに影響を与えることを防ぐため、DCCは自動的にJNCコンピュータとの接続を断つことができる。

(4) 工程関連アラーム

SMMSは測定対象となっている槽の過度の溶液温度上昇や攪拌のためのエアパージの作動異常についても検知し、アラームを発報・記録する。また、計装配管に詰まりなどが生じたことによる過度の背圧上昇についても検知できる。

4.2 オーセンティケーション機能

SMMSは保障措置上重要な槽に対するIAEAの独立測定システムである。これはオーセンティケーション機能及び初期オーセンティケーションの維持機能(タンパーブルーフ機能)により確立されている。

(1) キャビネット

SMMSのほぼすべての機器は、キャビネット内に収納されている[JNCコンピュータ、国及びIAEAコンピュータ、及び一部の計装配管と通信ケーブル(光ファイバーケーブル)は除く]。このキャビネットのドアにはIAEA及び国の査察官による封印がなされているとともに、ドアの開閉に伴いアラームが発報・記録される。また、キャビネット本体とチャンネルベース間には底板が設置されており、これらにより、キャビネット内機器に対する外部からのアクセスを防止・検知している。

(2) オーセンティケーション関連アラーム

SMMSは、キャビネットのドアの開閉や、通信ラインの監視等を行っており、これらに異常を検知した場合にはアラームを発報・記録する。これにより、SMMSに対する不当な干渉を検知することができる。

(3) コンピュータ

DCCは国及びIAEAのみが扱う機器であり、封印されたキャビネット内に収納されている。DCCは、SMMSに発生したすべてのアラームや測定データを記録し、故障に備えてハードディスクは2重化されている。DCCは起動のために複数のパスワードを有することで、測定データやソースコードの保護を行っており、通常時にはパスワード変更等の管理ツールの変更等は不可能な設定となっている。測定データの変更やソースコードへのアクセスのためには、メンテナンス用の特別なパスワードを入力する必要がある。これらのパスワードは国及びIAEAが独自に管理するそれぞれのパスワードを組合せて構成されている。

JNCコンピュータ、国及びIAEAコンピュータもDCCにアクセスするためのそれぞれのユーザーパスワードを有するが、この場合、DCCへのアクセス権は測定データのコピーのみに制限されている。

(4) 光ファイバーケーブル

施設内の各所に点在するSMMSのキャビネット間の通信には光ファイバーケーブルが使用されている。光ファイバーケーブルは、切断/再接続が困難なため、通信ラインに対するタンパーブルーフ機能となる。また、光ファイバーケーブルのコ

ネクション部分は、すべて封印されたキャビネット内に収納されるとともに、SMMS自身が光ファイバーケーブルの切断・破損の監視を行っている。

(5) テスト用ポート

SMMSのすべての高精度圧力測定器にはテスト用ポートが取り付けられている。このテスト用ポートは、圧力測定器の校正時に基準圧力を入力するために用いられるほか、IAEAが基準マノメータを並列接続し、比較測定を行うためにも使用される。この比較測定を行うことにより、SMMSの高精度圧力測定器及び高精度圧力測定器からDCCまでの通信ラインのオーセンティケーションが可能となる。

5. SMMSの設置及びテスト

オーセンティケーションの確保のため、SMMSの設置工事及びテスト等には随時国及びIAEA査察官の立会が行われた。

5.1 設置前機能テスト

SMMSの設置工事に先立ち、メーカー工場において、システムを仮組みしての機能テストが行われた。機能テストは国及びIAEA査察官立会の下、各機器間におけるI/O(Input/Output)テストや作動テストを始めとして、システム全体の総合的なテストを重点的に行った。テストの結果、IAEAの要求に基づき、DCC画面の改良、キャビネット構造の改良等を行っている。

5.2 設置工事

SMMSの設置工事は約5ヵ月間にわたり実施され、重要な作業には国及びIAEA査察官の立会が行われた。査察官の立会対象となった作業は、主に高精度圧力測定器に接続する導圧配管の敷設工事や各キャビネット間における光ファイバーケーブルの敷設工事等であり、敷設前後における写真撮影や、配管又はケーブルの導通確認が行われた。

なお、光ファイバーケーブルの敷設工事はシステム全体の設置工事の最終段階に実施された。この理由は、ケーブルの敷設時にIAEA査察官が目視によりその健全性を確認した直後からSMMSを起動するため、すなわち、先に述べたSMMSの監視機能にオーセンティケーションの維持を引き継ぐためであった。この際、複数の光ファイバーケーブルの敷設には数日間を要したため、夜間等の査察官不在時に敷設済みケーブルへの不当な干渉等がないことの証明(知識の連続性の確保)を行う必要があった。このため、敷設済みの光ファ

イバーケーブルについて、一端から安定化光源により光信号を流し、もう一端でIAEAによる封印を受けた光センサー及び記録計により光量の連続測定を行った。これをシステム起動まで継続し、その間、記録された光量指示値に変化がないことで知識の連続性を確保した。

5.3 高精度圧力測定器等の校正

SMMSの設置終了後、国及びIAEA査察官の立会の下高精度圧力測定器、差圧伝送器等の校正が行われた。また、校正に当たっては、テスト用ポートにIAEAが持参した基準マノメータを並列接続し、比較測定を行うことにより校正作業の健全性がIAEAにより確認された。

5.4 設置後機能テスト(受入れテスト)

SMMSのすべての設置工事及び校正作業の終了後、IAEAによる受入れテストとして、各機器の作動テスト及び機能テストとともに、実プロセスに接続しての測定データの検証が行われ、すべてのテスト結果は良好であった。

5.5 連続稼働試験

受入れテストの終了後から、SMMSは連続稼働試験を継続している。この連続稼働試験中に作動上の幾つかの問題点が抽出され、それらの改善が

なされている。今後、数ヶ月間の連続稼働の継続が確認された時点で試験は終了し、査察機器としての稼働となる予定である。

6. おわりに

SMMSは連続稼働が実証された後に査察システムとして実用に供する予定である。

再処理工場への査察業務にSMMSが使用されることにより、査察官の現場における液位確認等、査察業務の大幅な削減が可能になり、査察の種類によっては査察官が施設へ来る必要もなくなる。さらに封じ込め/監視(C/S: Containment/Surveillance)機器として認められた場合、在庫検認のためのサンプリングが減少する等の効果がある。

SMMSの設置により、信頼性の高いデータ収集が可能になったことから、SMMSにより得られた測定データを用いて、液位等の変動を解析・評価し、プルトニウム製品貯槽における保障措置上不当な核物質の移動等を監視・判別するシステムの構築を計画している。

参考文献

- 1) 木村隆志, 早川剛 他: "PNC's Contribution on Tokai Re-processing Plant Safeguards Improvement Plan", 第19回核物質管理学会論文集, p. 100 (1998)