改良型保障措置監視カメラシステムの開発

(動力炉・核燃料開発事業団) 川本 速雄, 高橋 三郎

核不拡散条約に基づく保障措置協定によれば、保障措置実施の目的は、有意量の核物質が平和的な原子力活動から核兵器その他の核爆発装置に転用されることを探知することにある。この目的を達成する手段として基本をなすのが核物質の計量管理であり、これを補完する手段として封じ込めおよび監視が用いられている。今回、動燃事業団において、保障措置技術開発の一環として、国際原子力機関が強く要望している高信頼度、高性能の監視カメラの開発を行なったので紹介する。

I. はじめに

核不拡散条約に基づき国際原子力機関(IAEA)と加盟各国間で結ばれている保障措置協定によれば、国際保障措置の実施に当たっての具体的な目的は、平和目的の原子力開発利用に用いられている核物質が、核兵器または他の核爆発装置に転用されることを適時に探知し、また抑止することにある。IAEAは、そのため有意な量の核物質の核兵器、核爆発装置または不明用途への転用を適時に検知し、または転用の企てに対して早期に発見できるという危機感を与えることにより転用を抑止するよう、加盟各国との間で結ばれた国際保障措置協定に基づいて、国際査察を含む所要の活動を行っている。

上記の目的を達成する手段として基本をなすのが核物質の計量管理であり、これを補完する手段として封じ込めおよび監視(Containment and Surveillance, C/S)が用いられている。動燃事業団としては、計量管理の実施、国内および国際査察の受入れを含め所要の義務を果たしているが、さらに国が実施する対IAEA保障措置支援計画(Japan Support Programme for Agency Safeguards, JASPAS)への参加および施設者側としての必要性等に鑑み、計量管理やC/S手段の改善と開発に対して、出来る限り協力・支援を行なってきた。今回、この一環としてIAEAが従来から強く要望している高信頼度、高性能の監視カメラの開発をエルモ社との協力で行い、予期の成果を収めることができた。

この監視カメラの開発は2段階に分けて行われ、第1段階では改善要求項目を満たすべく機能本位の原型モデル(D-1モデル)を製作し、第2段階においてD-1モデルでの開発経験および実証試験を踏まえて実用最終モデル(D-2モデル)を製作し、これを上記のJASPAS

のひとつとして、1983年にIAEAに対し供試貸与することとなった(写真1(a), (b)を参照)。

以下に、従来の監視カメラに対比される主な特徴および改善点および本監視カメラの評価試験の結果について述べる。

II. 従来の監視カメラに対比される主な特徴および改善点

改良型保障措置監視カメラにおいて実現された、従来の監視カメラに対比される主な特徴および改善点は以下のようである。

- (1) 民生用 ELMO 612S-XL 型ムービーカメラを母体として使用しており、14,400コマを撮影可能な長尺(200 ft)カラーフィルムが使用可能である。これは、従来のものに比べ4倍の容量にあたる。
- (2) $F:1.2$, $f=5.69$ mm の広角レンズを使用し、自動露出で最長1分までの長時間露光が可能で、かなり暗い場所でも撮影できる(第1図参照)。
- (3) タイマーは、いわゆるクォーツ・クロックを利用して高精度でコントロールされており、1分間隔から99分間隔まで、1分刻みで任意な時間間隔に設定できるコントローラで1コマ撮影が可能である(第2図参照)。
- (4) 光学的方法(第3図参照)により、画像の左縁端部に14桁(日付および時間等)の情報をLED(Light Emission Diode)発光素子から転写して記録することができる。

情報記録部分: 1.00×4.14 mm

画像有効部分: 4.70×4.14 mm

Development of Improved Photographic Surveillance Systems for Safeguards: Hayao KAWAMOTO, Saburo TAKAHASHI.

(1983年 8月4日 受理)

写真 1(a) D-1 モデルカメラ

写真 1(b) D-2 モデルカメラ

第 1 図 輝度と露光時間との相関関係 (測定値)

第 2 図 全体システムの信号系
ブロックダイアグラム

第3図 データ写し込みメカニズム

電力消費を少なくするため、およびフィルム面での文字のハレーションを避けるため、LED素子の発光時間は、ASA 40フィルムに対し32 ms、ASA 160フィルムに対し8 msにコントロールされている。

- (5) フィルムの送行不良、巻取り力の不足等によるジャミング*をなくし、この監視カメラの信頼性を高めるよう次のような点について改良を行なっている。

① フィルム駆動用モータは、1コマ撮影用高負荷条件に耐え得るよう高トルクモータ(Coreless DC Motor)に取り替えている。

② 不要な録音用ヘッドを取り除き、代わりにフィルムがスムーズに移送されるようガイドローラを付加している。

③ カメラシステムをジャミングの主要原因のひとつである湿度や塵埃等から守るために、収納ケースの機密性を十分にしている。

- (6) タンパブルーフネス**機能を持ち封印可能な収納箱を開発し、これに納めている。第4図に示すように、この収納箱は3層からなっており、外層および内層はABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)樹脂板をベースにグラスファイバー織布を張り、これを透明な樹脂によって固定したFRP (Fiber Reinforced Plastic)構造となっている。その中間には、10数mの光学繊維を箱のすべての部分へ行きわたるよう蛇行させてあり、この光学繊維の両端は収納箱の端面に出してある。これは、一端へフラッシュライトの光を当てることによ

第4図 カメラ収納箱の断面模型

り、他端でその健全性が確認できるためである。

これらの結果、収納箱は堅牢かつ軽量化し、外から見られるグラスファイバーの織り文様は個々の収納箱によって異なるため、いわゆるユニーク性を持っている。したがって、妨害・欺瞞を試みようとする企てに対して脅威となり、収納箱を切断してカメラに対し妨害・欺瞞を行おうとしても、その原状への修復が困難で、かつ容易に検知することができる。

- (7) 査察員によるサービスを容易にし、また誤操作によるトラブルをなくすため、種々の工夫をこらしている。例えば、

① タイマー駆動電源に対し並列に大容量コンデンサを入れることにより、駆動電源が喪失しても約30 min 近くバックアップされるようにしてある。このことにより、カメラサービスの都度タイマーをリセットする必要がない。

* 一般的には、フィルムがアコーディオン状になることである。IAEAでは、もっと広い意味でフィルムの送行不良のことをいっている。

** 被監視者による欺瞞および妨害行為への対抗。

- ② 比較的電力を費やすLEDデータ表示の消し忘れによってバッテリー消耗が促進されることがないように、自動的に10 s後に消燈する機構をつけている。
- ③ フィルムをセットする時に露光部分を自動的に給送し、装填チェックを行う機構がついている。装填が不完全である場合には、警報が発せられ、これを報告する。この時には、再度フィルムの装填をやり直す。
- (8) カメラ前面に施設の通常状態を写したパネルまたはスクリーン(プロジェクター映写)を置いて、その陰で欺瞞活動を企てることに對抗するため、カメラ前面の対象物に対する距離が測定され、これが画面上に表示される。これは、第5図に示すように、赤外LEDで発光されたビームが被写体に当り反射して戻ってくる赤外光を、光点位置検出器 PSD (Position Sensitive Device) に集光させるという投光受光方式の測距システムである。

第5図 測距メカニズム

PSDはスポット光位置に対応した光電流を出力し、信号処理を行なって被写体までの距離を測定する。測定された撮影距離は4つのゾーン(1~2 m, 2~4 m, 4~8 m, 8 m 以上)に対応し、フィルム上に光点の位置変化として表示される。(第6図参照)

(Object Distance Indication Dot Position)

第6図 データ表示の具体例

Ⅲ. 評価試験結果

監視カメラは、査察員が不在の時に使用されるのが前提であり、設置される場所も世界のあらゆる地域の原子力施設、すなわち高温高湿な場所から低温な場所まで、あるいは屋外、屋内、照明条件も自然光、人工光と様々な環境条件が予想され、その条件下での完全な作動が期待されている。このような条件を考えて監視カメラの信頼性評価を行うため、次のような評価試験を実施し、満足のいく結果を得た。

(1) 異なった温度および湿度のもとでの耐久試験

(1) 低温時におけるバッテリーテスト

(条件) 設定温度: $-5 \sim -25^{\circ}\text{C}$

インターバル: 1コマ/2 min

使用フィルム: Kodac 40 (200 ft フィルム)

使用電池: 駆動用 National AM 1×6

クロック用 National AM 3×3

(結果) 第7図を参照。

○低温時(-15°C 程度)においては、開放時電圧、動作時電圧、クロック用電圧の電圧降下は大きい、カメラ作動にとって特別の影響は受けない。

○電源の供給が十分であれば、 -25°C の状態でも撮影は可能である。

(2) 高温高湿時におけるバッテリーテスト

(条件) 設定温度: $+40 \sim +60^{\circ}\text{C}$

設定湿度: 70~90%

インターバル: 1コマ/2 min

使用フィルム: Kodac 40 (200 ft フィルム)

使用電池: 駆動用 National AM 1×6

クロック用 National AM 3×3

(結果) 第8図を参照。

○高温高湿(60°C , 90%)でも、上記フィルムに関する限りジャミングは起こらなかった。

○高温高湿(50°C , 80%以上)では、フィ

第7図 低温時におけるバッテリーテスト

第8図 高温高湿時におけるバッテリーテスト

ルムのカーリング(フィルムが熱によって彎曲すること)によるものと考えられるピント不良が起きている。

(3) カメラの駆動時における消費電力の温度特性

(条件) 設定温度: $-15 \sim 40^{\circ}\text{C}$

(結果) 第9図を参照。

○低温時(-15°C)での消費電力量は常温

第9図 カメラの駆動時における消費電力の温度特性

時(20°C)に比べ約30%増大する。

(4) クロック精度の温度特性

(条件) クロック用電圧を4.25 Vに保った時のクロック精度の温度特性

(結果) 第10図を参照。

○常温時(20°C)を基準として低温時の方

第10図 クロック精度の温度特性

が約 2 ppm (parts per million)/°C 遅れる。

○この値は、-15°Cのもとで 100 日間運転された場合、最大-10 min 程度の誤差である。

(2) 耐振動テスト(輸送時における振動も含む)

(条件) カメラ協会の基準に従って耐振動テストを実施した。

(結果) 各部に異状は認められなかった。

(3) カメラ駆動部の耐久テスト

(条件) 設定温度: 常温(20°C)

インターバル: 1 コマ/2 s

使用フィルム: ダミーフィルム

(エンドレス)

使用電源: 定電圧電源

(結果) ○85万回に至るまでシャッター作動に異常は生じなかった。

○85万回の撮影は長尺フィルムで59本分に相当し、10 min のインターバルで撮影した場合16年間の使用に耐え得ることを意味する。

Ⅳ. おわりに

現在、IAEA では約600台の8mm監視カメラを所有しており、世界各国での国際査察において使用している。C/S は基本的な保障措置手段としての計量管理に対し、重要な補足手段として規定されており、実態上、監視カメラに課せられた主要な役割は、核物質の移動がIAEAに申告された経路あるいは時間のみで起こったことの検認であるといえ、査察員が不在の時に使用されて一定期間の保障措置の担保を得る目的で使用される。何らかの原因で、この担保が不十分あるいは疑われるときは、例えば在庫の再検認といった事態にもつながりかねない。したがって、監視カメラには高い信頼性が要求される。この信頼性の中には単に作動が確実であることだけでなく、必要な情報が確実に入手できることも含まれ、例えばカメラへの欺瞞行為があればその検知、できればその予防も可能としたい。

従来、IAEA では監視カメラの信頼性を向上させるために、相当な改善努力がなされてきた。その結果、

故障率は年々大幅に改善されるという実績が示されている。しかし、IAEA の置かれた周辺環境あるいはより高度の性能に対する査察員からの要求から見て、今までのカメラを基本的に見直し、新世代のカメラを開発するという方向へ向うことは避けられないものとなっていた。

この監視カメラは、何よりもまず高信頼性の達成を前提とし、フェイルセーフを含む高操作性と高性能化のため、フレーム上へのデータの記録、大容量のカートリッジ、自動露出・長時間露光、被写体測距とその記録およびタンパープルーフなカメラ収納箱等、現在入手可能な最高の性能を達成することを目標としつつ、今後10年以上にわたって使用に耐え得るものを狙った。この監視カメラが実生産モデルとして査察者側で採用されることになれば、今後当分の間は従来のモデルと置換され、国際査察においてルーティン機器として設置・オペレートされると期待されている。

一方、動燃事業団としては、これに満足することなく本監視カメラのさらに先を睨んで長期的開発の方向を考察している。それは必然的にビデオ方式へ向わざるを得ないと考えられ、当面 VTR を使った CCTV (Closed-circuit Television) 監視システムの開発から出発した。すなわち、VTR による原型モデルを4年前から開発・完成し、実際の施設環境において実証試験用として現在作動させている。この開発経験およびオペレート経験を通じ、VTR 監視システムにおける長所と欠点について多くの知見を得ることができた。

それらの問題点の克服には、最近日本で開発市販された半導体レーザーを使った静止画ビデオディスク装置がひとつの有望な方向であると着目しており、さらに進んでは磁気泡メモリーのようなノン・メカニカル記録方式を利用したものの開発が目指されるべきではなかろうか。

また、将来は単に機器単体としての監視システムの開発のみではなく、むしろ、機器としてはより単純であっても信頼性が高く、被査察者側の受入れが容易な C/S 機器の組合せをとることによって、より高い費用対効果比をもち、かつ査察者、被査察者双方の省力の方向を目指した総合的な保障措置 C/S システムが指向されるべきではないかと考えている。