

放射性物質汚染検査装置

長谷川 透(はせがわ とおる)

橋本 忠雄(はしもと ただお)

橋本 学(はしもと まなぶ)

1 まえがき

原子力発電所では、管理区域外へ放射性物質による汚染が広がるのを防止するため、管理区域境界に表面汚染検査モニタを設置し、管理区域から外へ移動されるすべての物品の表面汚染を監視している。主な表面汚染検査装置として、作業者の身体表面汚染を測定する体表面汚染モニタ、足場板などの大物から作業員が携帯する工具などの小物までの表面汚染を測定する物品表面汚染モニタ、管理区域内で着用する作業服などの表面汚染を測定するランドリモニタがある。

さらに、管理区域内で作業する人の体内被ばく(内部汚染)を測定するホールボディカウンタ、また主に病院などで使用され、手足および着衣の表面汚染を測定するハンドフットクロスモニタがある。

富士電機はこれらの装置を、大面積放射線検出器、高速で演算処理可能な信号処理部、最適な条件で測定可能にする機構部、さらに音声案内や大型カラー液晶を採用したヒューマンマシンインタフェースを用いて、放射性物質の高感度・高速な測定を実用化し、全国の原子力発電所に納入してきた。加えて、これらの装置は自己診断機能を備え、さらにデータ処理装置とつなげることによって、汚染検査測定データの一括管理が可能である。

本稿では、これらの装置の概要・特徴について説明する。

2 体表面汚染モニタ

2.1 概要

体表面汚染モニタは、管理区域の出口に設置され、管理区域から退出する人の身体表面の汚染の有無を検査する装置である。本装置は、全身表面をカバーできるように検出器を配置しており、効率よく短時間で測定が行える。また、頭部は感度よく測定するため頭上検出器が自動昇降する。昇降範囲は小学生から外国人まで検査が受けられるように、1,300 mm から 2,000 mm までとなっている。

検査の結果、汚染がない場合は出口側(非管理区域)へ

の退出を促し、汚染がある場合は非管理区域側へ退出させないようにしている。装置の外観を図1に示す。

2.2 特徴

1) 検出感度

線を 0.4 Bq/cm² の感度で測定できる。条件を表1に

図1 体表面汚染モニタ



表1 体表面汚染モニタの仕様

項目	仕様
検出器	プラスチックシンチレーション検出器
検出器数	15~18面
検出感度 <条件> BG 測定時間 線源 距離	0.4 Bq/cm ² 0.1 μSv/h 10 秒 U ₃ O ₈ 100×100 (mm) 手・足 密着 頭 50 mm その他 100 mm
処理能力	約20秒
外形寸法	W860×D1,000×H2,250 (mm)
測定室内寸法	W500×D700×H2,000 (mm)
質量	780 kg



長谷川 透

汚染モニタ、放射線装置などの開発・設計に従事。現在、富士電機システムズ(株) 機器本部東京工場放射線装置部。



橋本 忠雄

汚染モニタ、放射線装置などの開発・設計に従事。現在、富士電機システムズ(株) 機器本部東京工場放射線装置部。日本機械学会会員。



橋本 学

汚染モニタ、放射線装置などの開発・設計に従事。現在、富士電機システムズ(株) 機器本部東京工場放射線装置部。

示す。

2) 検出器

線用の大面積プラスチックシンチレーション検出器を採用している。

3) 最適測定時間運用機能

通常は一定時間（運用により設定可能）で測定を行うが、モニタのタイプによっては処理時間短縮の目的で、バックグラウンド（BG）計数率から検出感度を満足する最適な測定時間を算出し、自動設定することにより最短の測定時間でも測定できる。

4) 見学者対応機能

最近は見学者も増加しており、測定時に扉開状態で操作説明ができる。

5) 装置の小型化

幅 860 mm、奥行 1,200 mm のタイプ、および限られたスペースで設置台数を増やす目的で幅 800 mm、奥行 1,200 mm のタイプもある。測定室内寸法幅は前者が 400 ~ 500 mm、後者が 400 ~ 440 mm で設定できる。

6) メンテナンス性の向上

非管理区域側のオープンスペースでメンテナンスすることができる。

7) 案内機能

作業者が測定するときは LCD（Liquid Crystal Display）表示および音声による操作案内を行っているが、外国人への対応として表示および音声を英語に切り替える機能を装備したタイプもある。

8) データ処理装置との接続

データ処理装置とのインターフェースは LAN またはシリアル伝送が選択できる。データ処理装置では、動作状況のリアルタイム監視、測定結果表示、帳票、トレンドグラフの作成および測定データの長期保存ができる。

9) デザイン性の向上

開放感のある構造になっているため、被測定者に圧迫感を与えず測定することができる。

3) 物品表面汚染モニタ

3.1 概要

物品表面汚染モニタは、管理区域から搬出する物品の表面および内面が汚染していないことを検査するための装置で、大物物品搬出モニタ、小物物品搬出モニタ、可搬型小物物品搬出モニタ、PHS（Personal Handyphone System）搬出モニタ、クリアランスレベル測定装置がある。それぞれの外観を図 2 ~ 7 に示す。

3.2 共通の特徴

1) 検出感度

線は 0.4 Bq/cm²、線は 1.1 Bq/cm² の感度で測定できる。条件を表 2 に示す。

2) + 線検出器の採用

線用と線用シンチレータを一体化した検出器を取り

付け、パイプなどの内面汚染（線）を測定できる。

3) 上面検出器の移動

図 2 大物物品搬出モニタ



図 3 小物物品搬出モニタ



図 4 可搬型小物物品搬出モニタ（タイプ 1）



図 5 可搬型小物物品搬出モニタ（タイプ 2）



物品の形状に合わせて上面検出器を下降させて測定を行うため、物品により近い距離での測定が可能であり、物品の形状によらず効率のよい測定が行える。

4) 安全対策

装置の可動部分であるコンベヤや扉には、測定者が指や腕をはさまれないように、触れると停止するパースイッチや光電スイッチを取り付けている。

3.3 大物物品搬出モニタ

大物物品搬出モニタは、大物物品搬出口に設置し、定期検査時に管理区域から大量に搬出する足場板やパイプなどの大型で平面状の物品の汚染を効率よく測定するための装置である。

1) 処理能力

検出部の幅が 1,500 mm あるので、足場板やパイプなどをまとめて測定できる。例えば、パイプ（長さ 4 m）は、1 時間に 150 本以上測定することができる。

2) 測定方法

足場板、パイプなどの長い物品は、コンベヤ上に直接載せ測定する。一方、クランプ、ボルトなどの小型物品は、測定皿に並べてコンベヤに載せ測定する。

3) 搬出票の作成

測定物品、数量を登録して測定することによって、モニタ内蔵プリンタにて搬出票を作成することができる。

4) コンベヤ速度

コンベヤ速度は、10 ~ 100 mm/s まで 10 mm/s 単位で

自動設定できる。自動設定では、設置場所の BG によって、最適のコンベヤ速度を演算して自動設定することができる。

5) 装置の移動

装置には、移動台車（タイヤ付き）を取り付けており、バッテリー付きの自走式の移動台車の場合には、一人で装置を移動させることができる。

6) 横方向への移動

装置を切り返すスペースのない場所で、装置を任意の位置に移動させるため、横方向移動用の横向きの車輪を取り付けている。

3.4 小物物品搬出モニタ

小物物品搬出モニタは、出入管理室付近に設置し、作業者が手持ちで管理区域に持ち込んだ筆記具、工具など小型の物品の汚染を効率よく測定するための装置である。

1) 検出器の配置

汚染測定を行う測定物の形状に対応するため、測定物の上下、前後、左右の全周囲に検出器を取り付けたタイプと、測定物の上下の 2 面に検出器を取り付けたタイプを製作している。

2) 測定物の保管機能

測定物は測定後非管理区域側のコンベヤに搬出されるが、測定物を収納するストッカも接続することができる。ストッカの収納数は、測定物高さ 100 mm のものを 8 段、測定物高さ 300 mm のものを 4 段など運用によって選択することができる。

表 2 モニタの仕様

モニタ名称 項目	大物物品搬出モニタ	小物物品搬出モニタ	可搬型小物物品搬出 モニタ（タイプ1）	可搬型小物物品搬出 モニタ（タイプ2）	PHS搬出モニタ
検出器	プラスチックシンチレーション検出器	プラスチックシンチレーション検出器	プラスチックシンチレーション検出器	プラスチックシンチレーション検出器	プラスチックシンチレーション検出器
検出器の配置	被測定物の上下	被測定物の上下左右前奥	被測定物の上下	被測定物の上下	被測定物の上下
検出感度（線） <条件> BG 移動速度または 測定時間 線源 距離	0.4 Bq/cm ² 0.1 μSv/h 20 mm/s U ₃ O ₈ 100×100 (mm) 30 mm	0.4 Bq/cm ² 0.1 μSv/h 10 s U ₃ O ₈ 100×100 (mm) 30 mm	0.4 Bq/cm ² 0.1 μSv/h 10 s U ₃ O ₈ 100×100 (mm) 30 mm	0.4 Bq/cm ² 0.1 μSv/h 10 s U ₃ O ₈ 100×100 (mm) 30 mm	0.4 Bq/cm ² 0.1 μSv/h 10 s U ₃ O ₈ 100×100 (mm) 30 mm
検出感度（線） <条件> BG 移動速度または 測定時間 線源 距離	1.1 Bq/cm ² 0.1 μSv/h 20 mm/s ⁶⁰ Co 100×100 (mm) 30 mm	1.1 Bq/cm ² 0.1 μSv/h 10 s ⁶⁰ Co 100×100 (mm) 30 mm	—	—	—
被測定物の寸法	W 1,500 mm D 4,000 mm H 300 mm	W 500 mm D 500 mm H 300 mm	W 420 mm D 300 mm H 120 mm	W 310 mm D 220 mm H 120 mm	W 160 mm D 60 mm H 30 mm
被測定物の質量	200 kg	20 kg	5 kg	5 kg	PHSなどの軽量物
被測定物の例	○ビディ足場 ○足場用機材 ○足場板 ○パイプ	○書類 ○工具 ○筆記具 ○小型測定器	○書類 ○工具 ○筆記具	○書類 ○工具 ○筆記具	○PHS
外形寸法	W 4,550 mm D 2,110 mm H 1,950 mm	W 1,000 mm D 1,900 mm H 1,600 mm	W 550 mm D 450 mm H 600 mm	W 400 mm D 315 mm H 470 mm	W 260 mm D 350 mm H 270 mm
質量	4,000 kg	1,800 kg	50 kg	18 kg	15 kg

図6 PHS 搬出モニタ



図7 電中研式クリアランスレベル検認装置



3.5 可搬型小物物品搬出モニタ (タイプ1)

可搬型小物物品搬出モニタは、測定対象をノートや用紙のみに限定しており、駆動機構を取り付けていないため、質量約 50 kg の小型の装置である。また、設置スペースが小さいので、搬出品の多い時期を対象として臨時に設置する運用にも対応できる。

上面検出器の取付け高さを物品搭載面から 40, 70, 100, 130 (mm) の 4 段階から選択して手動設定することができる。

3.6 可搬型小物物品搬出モニタ (タイプ2)

前述の可搬型小物物品搬出モニタをさらに軽量化 (約 18 kg) したもので、付属の肩掛けベルトを使用することで、作業員一人で容易に移動させることができる。また、オプションのバッテリーユニットを使用すると、電源の供給ができない場所でも運用することができる。

3.7 PHS 搬出モニタ

PHS などの小物の測定に特化したモニタである。装置外形が 260 × 350 × 270 (mm) と小型であるため、カウンタの上の空きスペースを利用して設置することができる。

3.8 電中研式クリアランスレベル検認装置

電中研式クリアランスレベル検認装置は、原子炉施設な

どの廃止措置に伴って発生する金属廃棄物の放射性物質濃度の放射能レベルを測定し、放射性物質として扱う必要がないクリアランスレベル以下であることを確認するものである。本装置は財団法人電力中央研究所が開発した校正手法を適用した初の実用規模の装置であり、以下の特徴を有している。

1) 構成

本装置は、形状計測部、重量計、本体部、検出測定部、信号処理部で構成される。形状計測部は、不定形状の金属廃棄物の形状をレーザ光によって三次元的に計測する。検出測定部は線を検出する大面積のプラスチックシンチレーション検出器を採用し、金属廃棄物の上下各方向から測定している。また、検出器全体を鉛で遮へいして、高感度に測定できるようにしている。

2) 機能

金属廃棄物の形状データおよび質量データを用いてモンテカルロ計算を行い、検出器の放射能測定値を形状を考慮した値に補正する。質量を測定後、金属廃棄物から放出される線を検出測定することにより、放射能レベルを測定している。

4 ランドリモニタ

4.1 概要

ランドリモニタは、管理区域内で使用した衣類などを洗濯前、または洗濯後に衣類表面の汚染の有無を効率よく検査するための装置である。測定対象は、つなぎ服・下着類などの衣類、帽子・手袋・靴下などの小物、ヘルメット・靴などの成形品である。

前モニタは、洗濯前の衣類などで洗濯に適さない高汚染品を選別するための装置であり、小物前モニタなどがある。後モニタは、洗濯後の衣類などに汚染が残っているかどうかを検査する装置であり、衣類モニタなどがある。折りたたみ機、仕分け機は汚染品と正常品を自動的に分別する装置であり、折りたたみ機は分別と同時に正常品の衣類を自動的に折りたたむ装置である。これらをモニタと連動させることにより作業の省力化と高速化が実現できる。ここでは特に前モニタ、小物前モニタ、衣類モニタを中心に紹介する。

4.2 特徴

- 1) 衣類、小物、成形品などのモニタや前モニタなど、検査目的と対象物に対応したモニタが完備している。
- 2) 衣類、小物前モニタは管理区域から持ち出す法令基準値の 1/10 を満足する検出感度を有している。
- 3) 処理能力が高く、衣類モニタではつなぎ服を 1 時間に 250 着程度処理できる。
- 4) 衣類モニタの搬送部では従来の金網コンベヤに替わり、最近では低コスト、低騒音、高寿命の樹脂性丸ベルトも採用している。
- 5) 除電器を搭載することにより、作業員を静電気

ショックから守る。

- 6) 測定系の動作については豊富な自己診断機能を持っており、健全性の確認が容易にできる。

4.3 機能

1) 衣類モニタ

測定対象は洗濯後の衣類、小物であり、折りたたみ機と連動して使用するときは衣服だけを対象とする。モニタに投入された測定対象物は上下のコンベヤで挟み、上下に配置された検出器の間を移動することによって汚染検査される。搭載している大面積線検出器はコンベヤ全幅にわたって不感体部分がなく、従来に比べて全体を小型・軽量化している。折りたたみ機を接続する場合は正常品と汚染品は自動的に分別され、正常品は折りたたまれる。衣類モニタの外観を図8、仕様を表3に示す。

2) 小物前モニタ

測定対象物を洗濯前の小物専用とし、測定方式は衣服モニタと同様で、本体後部に仕分け機を搭載し正常品と汚染品の分別をしている。また、運用方法の違いで、汚染品を挿入部に戻すことにも対応している。また、ぬれた小物に対応可能な耐久性の高いベルトを採用している。小物前モニタの外観を図9、仕様を表4に示す。

3) 前モニタ

洗濯前の衣類などをステンレス鋼製バケット(ウェル部)に投入し、汚染検査を行う。投入すると自動的に測定を開

始し一定時間測定後結果を表示する。汚染ありと判定されたときには警報を出す。また、バケット部は除染を考慮し、

図9 小物前モニタ



表4 小物前モニタの仕様

項目	内容
測定線種	線
検出器	プラスチックシンチレーション検出器
検出感度	1.0 Bq/cm ² 以下 (移動速度100 mm/s, 使用線源 ⁶⁰ Co)
処理能力	下着相当 約250着/h以上
外形寸法	約H1,420×W950×D2,500 (mm)
質量	約1,600 kg

図8 衣類モニタ, 折りたたみ機



表3 衣類モニタの仕様

項目	内容
測定線種	線
検出器	プラスチックシンチレーション検出器
検出感度	1.0 Bq/cm ² 以下 (使用線源 ⁶⁰ Co) 0.37 Bq/cm ² 以下 (使用線源 U ₃ O ₈)
処理能力	約250着/h以上
外形寸法	約H1,350×W1,000×D2,500 (mm) 突起物含まず。
質量	約3,000 kg

図10 前モニタ



表5 前モニタの仕様

項目	内容
測定線種	線
検出器	NaI (TI) シンチレーション検出器
検出感度	37 Bq/cm ² 以下 (使用線源 ⁶⁰ Co)
処理能力	300 kg/h以上 (収集袋1袋あたり5 kg処理時間60秒/回で評価)
外形寸法	約H1,000×W800×D950 (mm) 突起物含まず。
質量	約2,500 kg

簡単に取外しできる構造となっている。従来に比べ全体を小型化し設置スペースが小さい。前モニタの外観を図10、仕様を表5に示す。

5 ホールボディカウンタ

5.1 概要

ホールボディカウンタ（WBC）は、管理区域内で作業を行う放射線業務従事者の体内汚染有無の判定および体内汚染時の定性・定量分析、預託実効線量当量（内部被ばく線量当量）算出に必要な体内放射性物質量の把握のために、体内の放射性物質から放出される線を体外から測定する装置である。

5.2 特徴

1) 目的に合わせた測定系

体内汚染有無判定のための測定をスクリーニング測定、体内汚染時に実施する測定を精密測定といい、それぞれスクリーニング測定用 WBC、精密測定用 WBC を製作している。

スクリーニング測定用 WBC、精密測定用 WBC のベッド型の仕様を表6、表7に示す。

2) 形状

WBC は測定時の被検者の姿勢により、ベッド型とチェア型に分類される。ベッド型では被検者が寝たベッドを遮へい体内に進入させることで測定を実施する。チェア型では被検者が開放型の遮へい体の中のいすに座って測定を受けるようになっている。また、部屋全体を 200 mm 厚さの鉄板で囲った密閉型の遮へい体を使用した場合もある。出入口は扉を使用したタイプと迷路にしたタイプとがあり、低 BG で精密な測定が行えるという特徴がある。

それぞれの外観を図11、図12に示す。

表6 スクリーニング測定用ホールボディカウンタの基本仕様

検出器	プラスチックシンチレーション検出器 またはNaIシンチレーション検出器
遮へい方式	シャドウシールド方式（ベッド型）
測定時間	30秒～2分
エネルギー範囲	0.1～2.0 MeV
BG 値	約2,500～4,000 m ⁻¹ （30分測定）
検出感度	約150～250 Bq（ ¹³⁷ Cs） 約50～100 Bq（ ⁶⁰ Co）

表7 精密測定用ホールボディカウンタの基本仕様

検出器	高純度ゲルマニウム検出器 またはNaIシンチレーション検出器
遮へい方式	シャドウシールド方式（ベッド型）
測定時間	約10分
BG 値	約2,500～4,000 m ⁻¹ （0.1～2.0 MeV：30分測定）
検出感度	約120～150 Bq（ ¹³⁷ Cs） 約60～90 Bq（ ⁶⁰ Co）

3) 被検者への配慮

被検者は遮へい体内部に入って受検しなければならないが、音声や表示により測定案内を行い被検者が戸惑うことのないように配慮している。また、角の少ない柔らかいデザインにすることで遮へい体の威圧感を軽減している。

さらに、測定中にビデオなどの映像を提供するなど、被検者の測定中の負担を軽減する事例もあり、受検時の快適さの向上を図っている。

4) 管理者の負担軽減

被検者への測定案内から測定までを自動的に実施することができ、測定終了と同時に測定データは上位計算機に伝送される。このデータは、管理区域入域の際に実施される WBC 受検有無のチェックなどに使用される。

また、測定結果はデータ処理装置に保存され、その画面で確認することができる。データ処理装置のソフトウェアに Windows^注を採用したことにより視認性が向上し、測定結果の確認チェックを容易にしている。

さらに、夜間や休日でも ID カードがあれば測定できる

注 Windows：米国 Microsoft Corp. の登録商標

図11 ベッド型ホールボディカウンタ



図12 チェア型ホールボディカウンタ



ことから、管理者の負担低減に大きく貢献している。

5) データ管理方法多様化への対応

データ処理装置にエンドユーザーコンピューティング (EUC) 機能を付加し、管理内容に応じて必要なデータを抽出でき、要求に応じた画面帳票レイアウトにすることが可能である。

6) 無人化対応

入力作業の省力化から無人化までに対応するために、ネットワークを有効活用して、上位計算機と入力データを共有し、さらに関連部門、関連会社に対する該当測定データの送信、WBC 受検スケジュール管理などのシステム化を実施している。そして、定期利用者には、無人で測定が可能になるようなシステムも進めている。

6) ハンドフットクロスモニタ

6.1 概要

ハンドフットクロスモニタは、研究所、病院、原子力発電所など、放射性物質を取り扱う施設の汚染検査室などに設置し、作業者の手・足、衣服などに付着した放射性物質の表面汚染を検知するモニタである。放射性物質から放出される放射線のうち、線を検出し、あらかじめ設定された警報レベルを超えると警報音を発し、手・足および衣服の汚染部位を表示する。

ハンドフットクロスモニタの外観を図13、仕様を表8に示す。

6.2 特徴

- 1) 手・足を測定位置に載せるだけで、自動的に測定・汚染判定・表示を行う。
- 2) 定期的に BG を自動測定し、最新 BG 値による減算を行い、BG の変動による影響を少なくして正確な汚染の測定を行うことができる。
- 3) 最新 BG 値により検出限界を算出し、測定時間を自動的に変え、短時間で汚染測定ができる。
- 4) 汚染発生時は、カラー表示器に汚染部位がグラフィックで表示され、測定結果が容易に確認できる。
- 5) プラスチックシンチレーション検出器を使用しているので寿命のある GM 管と違い、交換の必要がない。
- 6) 衣服汚染測定用の検出器はプラスチック製で軽い。
- 7) 足台が低いので、測定時に乗りやすい。
- 8) 背面側の車輪を利用すると、一人でモニタを移動させることができる。
- 9) 3分割が可能であり、搬入・設置が簡単にできる。
- 10) 足測定部の汚染防止膜の巻取り、交換が容易である。
- 11) オプションでプリンタ印字も可能である。

6.3 機能

BG 測定と汚染測定のを繰り返し行う。BG が未測

図13 ハンドフットクロスモニタ

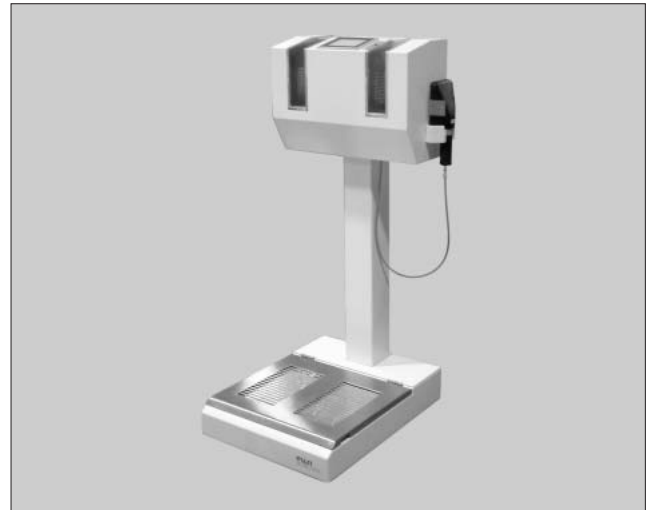


表8 ハンドフットクロスモニタの仕様

項目	内容
測定線種	線
検出器	プラスチックシンチレーション検出器
検出感度	1.0 Bq/cm ² 以下 (使用線源 ³⁶ Cl) 0.2 Bq/cm ² 以下 (使用線源 U ₃ O ₈)
測定時間	15 秒 (1 ~ 999 秒で任意設定可能)
外形寸法	H1,350 x W630 x D730 (mm) 以下
質量	約 80 kg

定の場合は BG 測定を優先し、設定回数の BG 測定が終了した後で汚染測定が可能になる。通常は BG 測定を行い最新の BG 値に更新する。

汚染測定は、手・足汚染測定と衣服汚染測定の種類があり、それぞれ単独で行う。手・足汚染測定は手・足検知用のセンサがすべて検知した時点で測定を開始し、測定終了後に判定結果を画面で表示する。衣服汚染測定は備え付けのプローブ形の検出器を使用し、衣服表面をサーベイしながら測定する。結果はリアルタイムで画面に表示される。汚染測定が終了した後、測定結果が異常の場合には、測定者の汚染かモニタの異常か否かを判定できる BG 確認の設定も可能である。

7) あとがき

今後は、最近の表面汚染検査装置類の JIS 制定に伴う装置の開発、海外拡販に向けた、IEC 規格に対応した低価格機種の開発、という課題を推進し、さらなる市場拡大を図っていく所存である。

最後に、ご指導・ご協力をいただいた電力会社の関係各位に深く感謝する次第である。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。