

# 遠隔監視システム JFE-SCADA の現状と展望

## Present Conditions of JFE-SCADA System and Future Prospects

松下 泰史 MATSUSHITA Yasushi JFE エンジニアリング 制御技術センターシステム開発部長  
後藤 満之 GOTO Mitsuyuki JFE エンジニアリング 制御技術センターシステム開発部 グループマネージャー

### 要旨

2000 年代以降、通信技術の進展により遠隔監視システムの設備構成は、専用装置から汎用機へ変遷してきた。JFE エンジニアリングでは、1980 年代よりパイプライン向け遠隔監視システムのエンジニアリングを行っており、遠隔監視に適したオリジナル仕様の JFE-SCADA の開発に取り組んできた。近年では、パイプラインに加え、太陽光発電所向パッケージなどに適用範囲を拡大している。本稿では、これまでの実績と、今度の展望について紹介する。

### Abstract:

Since the 2000s, the development of the communication technology has changed the architecture of remote monitoring system from specialized equipment to general-purpose computers. JFE Engineering has developed the remote monitoring system for pipelines since the 1980s, and has been tackling development of JFE-SCADA of original specifications which is suitable for remote monitoring. In recent years, in addition to the pipeline applications, JFE Engineering enlarged the SCADA system to solar power plants as a package. This paper outlines achievements and future prospects in these activities.

## 1. はじめに

パイプラインの遠隔監視システムは、流体の輸送・供給状況の監視、ならびに輸送・供給設備の円滑な運用を行なうほか、緊急時や災害時において迅速かつ的確な措置を行なうための重要な設備であり、十分な信頼性が要求される。通常は、監視・操業対象がパイプライン沿線上の遠隔地に多数点在することから、通信インフラを経由して、遠隔監視に必要な情報（データ）の収集が行なわれる。

監視・操業対象が遠隔地にある遠隔監視システム、いわゆる SCADA (supervisory control and data acquisition) システムの設計・構築にあたっては、通信インフラによるネットワーク設備への配慮が必要であり、通信インフラを含む経済性、通信パフォーマンスの向上、信頼性の確保が課題として挙げられる。

JFE エンジニアリングは、パイプライン建設において都市ガス・産業用から火力発電所用まで多数の施工実績がある。また、これらパイプラインの SCADA システムにおいても数多くの設計・納入実績があり、これまでに培ってきた「パイプライン運用ノウハウ」および「システム構築ノウハウ」に基づき、近年 SCADA システムの開発に取り組んできた。

## 2. 遠隔監視システムの構成

### 2.1 遠隔監視システムの 3 要素

遠隔監視システムの構成は、3つの要素に大別される(図 1)。

#### (1) 中央監視装置

中央監視拠点に設けられ、監視・操業対象からのプロセスデータを収集蓄積するためのデータベースサーバーと、プロセス全体を集中監視するための HMI (human machine interface) により構成される。

データベースサーバーでは、操業管理のためのトレンドデータおよび帳票データ、その他ログデータが蓄積される。HMI では、プロセス状況や警報情報などがグラフィック画面に表示される。また、プロセスを制御する際には、自動制御またはオペレーター操作により監視・操業対象へコマンドを送信する。

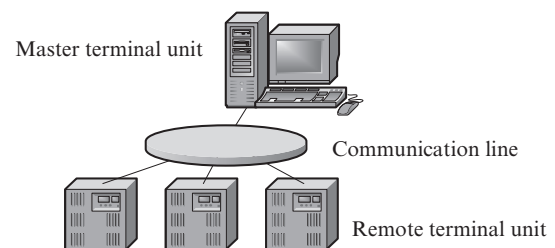


図 1 遠隔監視制御システムの 3 要素

Fig. 1 SCADA System structure

2014 年 8 月 29 日受付

## (2) 通信ネットワーク設備

中央制御装置と遠隔端末装置を接続し、データ伝送のために使用される通信媒体、ならびに通信制御装置により構成される。

通信媒体には、通信事業者による専用回線や衛星通信回線などのほか、光ケーブルやマイクロ波通信による自営回線などが用いられる。通信制御装置は、通信媒体の種類（性能やインターフェース仕様）により選定される。

## (3) 遠隔端末装置 (RTU)

RTU (remote terminal unit) は、遠隔地である監視・操業対象に設けられる。

RTU は、プロセス内に設置された各種センサーやアクチュエータと接続したデジタル入出力やアナログ/デジタル（またはデジタル/アナログ）変換などの入出力装置、プロセス制御や演算処理のための制御装置、ユーザーインターフェースとしてのタッチパネルディスプレイ、表示ランプ、操作スイッチなどにより構成される。

## 2.2 ガスパイプライン遠隔監視システム

天然ガスを輸送するパイプライン施設の監視・操業対象となるステーション設備には、緊急時にパイプラインを遮断するための緊急遮断弁を有するバルブステーション、加温減圧設備を有する減圧ステーション、ガス計量設備を有する供給ステーションがある。大規模パイプラインの遠隔監視システムでは、RTU の数は 100 を超える。

ガスパイプライン施設は重要なライフラインであり、天然ガス輸送の安定操業と安全性確保のため、遠隔監視システムは 24 時間 365 日リアルタイムの集中監視が要求される。さらに、緊急時や災害時におけるパイプラインの安全確保・遮断ツールとしての十分な信頼性が要求される。

## (1) 中央監視装置

データベース用ハードウェアは、温度変化・振動・電圧変動などに耐性があるものが使われる。さらに、故障率低減による信頼性と安定性を確保するため、ハードディスクや装置本体を冗長化する。

また、中央監視装置の障害は、パイプライン操業に多大な損失を与えることがある。このため、地震などの広域災害を考慮して中央監視装置そのものを複数個所に用意し、非常時のバックアップとして中央監視装置が別サイトに設けられるケースも多い。

## (2) 通信ネットワーク設備

通信回線の冗長化方式には、種別の異なる通信回線（有線回線と無線回線など）を利用した二重化方式や、監視・操業対象を環状（ループ）に接続する方式がある。

通信回線の二重化では、メイン回線は高速・高容量である光ケーブルなどの地上回線が利用される場合が多いのに対し、バックアップ回線は特に広域での対災

害性の高い衛星通信回線（低速・低容量）が選定される場合が多い。バックアップ回線は、非常時（メイン回線不通時または対災害時）の通信回線として利用され、重要度の高い監視・操業対象のみに限定して開設する場合もある。

## (3) 遠隔端末装置 (RTU)

RTU の制御装置の中央処理装置 (CPU)、電源回路、入出力装置などのハードウェアが冗長化される。

## 3. 遠隔監視システム開発の背景

## 3.1 遠隔監視システムの動向

1980 年代の遠隔監視システムは、中央監視装置としてミニコンピュータや DCS (distributed control system) を採用し、通信回線は 1 対 1 接続による専用回線が基本であったことから、中央監視装置と RTU 間は、1 対多接続によるツリー型ネットワーク構成 (図 2(a)) がとられた。

当時の専用回線は低速かつ低容量であり、現在に比べ回線品質が劣っていた。回線性能・回線品質を補うため、専用の通信制御装置 (テレメータ装置) を介した HDLC (high-level data link control: ハイレベルデータリンク制御手順) や専用プロトコルにより、データ通信が行なわれた。

このため遠隔監視システムは、メーカーによる専用のハードウェア・ソフトウェアの組み合わせにより構成された。

1990 年代には、TCP/IP (transmission control protocol/internet protocol) が一般的な通信プロトコルとして広く使われるようになり、メーカー専用の中央監視装置は、UNIX<sup>\*1</sup> や Windows<sup>\*2</sup> など汎用的なオペレーティングシステム (OS) をベースとするオープン化システムへと変遷してきた。また、Windows のデファクトスタンダード化にともない、Windows 上で動作する汎用 SCADA パッケージソフトウェアが出現し、中央監視装置にはパーソナルコンピュータ (PC) が適用・導入された。

2000 年代に入り、通信事業者による IP 網を利用した VPN (virtual private network) により、仮想的に専用線を構築するサービスが利用されるようになる。暗号化・カプセ

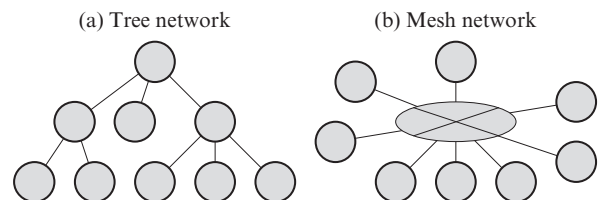


図 2 ネットワーク構成

Fig. 2 Network topology

\*1 UNIX は、The Open Group がライセンスしている米国およびその他の国における登録商標である。

\*2 Windows は、Microsoft Corporation の米国およびその他の国における商標である。

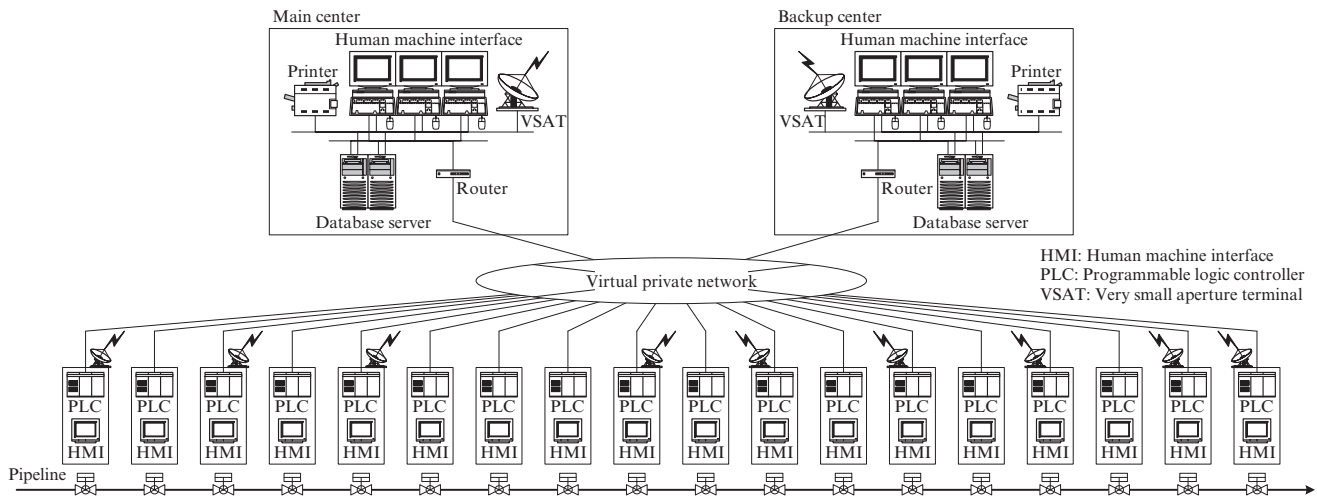


図3 SCADA システム全体構成

Fig. 3 SCADA System configuration

ル化などのセキュリティの向上と通信速度の高速化による遅延（ディレイ）の減少により、適用できる範囲が拡大したためである。

VPN サービスは、遠隔監視システムにおける中央監視装置と広域かつ遠隔地にある RTU 間を TCP/IP により通信接続するとともに、拡張性に富む多対多接続のメッシュ型ネットワーク構成（図 2(b)）を可能とした。また、TCP/IP による通信インターフェースは、中央監視装置がメーカー専用の通信制御装置（テレメータ装置）を経由することなく、RTU の制御装置である PLC（programmable logic controller）に対し直接通信接続することを可能とした。

VPN サービスの普及により遠隔監視システムは、メーカーによる専用装置から、汎用機（中央監視装置は PC+汎用ソフトウェア、RTU はルータ+PLC）への転換が促進された。

### 3.2 システム開発の経緯

JFE エンジニアリングが 1980 年代前半に完成した成田国際空港向け送油パイプライン遠隔監視制御システムでは、テレメータリングシステムとコンピュータシステムを採用し、通信回線としては自営メタルケーブルを用いた。1984 年完工の東京電力（株）向け袖ヶ浦～姉崎間高圧ガス導管遠隔監視システムでは、パイプライン施設では国内で初めて自営光ケーブルを用いた通信回線を採用した。1996 年には、石油資源開発（株）向け勇払・札幌間ガスパイプラインと北海道ガス（株）向け札幌幹線建設プロジェクトにおいて、国内では初めて衛星通信回線を適用した遠隔監視システムを納入した。

また、石油資源開発（株）向け長岡鉱業所管内送ガス・送油パイプラインにおける遠隔監視制御装置更新工事（2003 年度完工）で通信回線に VPN サービスを国内で初採用し、汎用 SCADA ソフトウェアによる国内最大規模（中央監視局 5ヶ所、RTU 47ヶ所）のシステムを構築した<sup>4)</sup>。

以降、遠隔監視システムに係わるハードウェア・ソフトウェアの汎用化への変遷にともない、JFE エンジニアリングは SCADA システムソフトウェアの開発に取り組んでおり、システムの基本計画・詳細設計・ソフト製作から保守・点検まで一貫したサービスを提供している。

遠隔監視システムの開発にあたり、当初は汎用 SCADA プラットフォームを用いていたが、性能上の限界より次項の課題解決を図るパイプラインの監視制御に適したオリジナルの SCADA ソフトウェア（JFE-SCADA）の自社開発に至った。

2011 年には、JFE-SCADA による遠隔監視システムの実機導入を達成し、その後は JFE-SCADA をベースにシステム構築を行なっている（図 3）。

## 4. JFE-SCADA の特徴

本章では、これまでの工事で培った「パイプライン運用ノウハウ」および「システム構築ノウハウ」に基づき開発した JFE-SCADA の特徴と標準機能を示す。

### 4.1 データベースサーバーの待機冗長化

中央監視装置のデータベースは、プライマリ（稼働系）サーバーとセカンダリ（待機系）サーバーによる待機冗長化構成をとる。

通常時は、プライマリサーバーのみが通信回線経由でデータ収集を行ない、セカンダリサーバーのデータ収集機能は待機状態にある。なお、セカンダリサーバーによるデータ蓄積は、通信回線を利用せずにプライマリサーバー経由で行なわれる。また、プライマリサーバーによるデータ収集機能が停止した場合は、セカンダリサーバーによる通信回線経由でのデータ収集が開始される。

待機冗長化では、片系サーバーにてデータ収集を行なうため、両系サーバーがおのおの独立にデータ収集を行なう

並列冗長化に比べ、通信負荷(通信データ量)は半減される。データベースサーバーの待機冗長化により必要な信頼性を確保するとともに、通信費用(ランニングコスト)の削減を図ることができる。

#### 4.2 データベースの等値化処理

サーバーの待機冗長化により、通常時は、プライマリサーバーとセカンダリサーバー間のデータベースは等値化される。ただし、プライマリサーバーが故障(データ収集機能停止)した場合は、セカンダリサーバーによりデータ収集は継続されるが、プライマリサーバーでは故障(停止)から再起動までの間はデータベースが欠損する。

等値化処理は、欠損したデータを補うことでサーバー間のデータを完全二重化するための機能である。プライマリサーバー復旧・起動後の等値化処理により、機能停止中の欠損データはセカンダリサーバーより補完される。

サーバー間の等値化処理により、両サーバーのデータベース(トレンドデータ、帳票データ、ログデータ)は完全に一致し、データ欠落防止による運用性向上が図られる。

また、データベースは汎用 RDBMS (relational database management system) により SQL ベースで蓄積・更新を行っているため、他システムからのデータ参照や蓄積データの移行が容易であり、蓄積データのバックアップとしての活用を図ることができる。

#### 4.3 通信回線の待機冗長化

通信回線は、メイン回線とバックアップ回線により待機冗長化されたネットワーク構成をとる。

通常時は、優先順位の高いメイン回線を経由して通信を行ない、バックアップ回線によるデータ収集機能は待機状態にあり、断線検出のための回線診断信号のみデータ通信される。

断線や設備故障などによりメイン回線による通信が途絶えた場合は、データ収集はバックアップ回線に切り替わる。また、メイン回線による通信状態が復旧した場合は、自動的に

優先順位の高いメイン回線によるデータ収集に復帰する。なお、メイン回線とバックアップ回線の切り替えは、RTU 単位で実行されるので、メイン回線を最大限有効に活用することができる。

図 4 において、通常時は回線 A~E によりデータ収集が行なわれるが、回線 A 不通時は RTU #1 のみ回線 X に切り替わる。回線 A の復旧にともない、自動的に回線 A によるデータ収集に復帰される。

通信回線の待機冗長化により、バックアップ回線に対する通信負荷の低減が図られ、低速・低容量の衛星通信回線の利用や、従量課金制(データ量に応じた課金方式)の回線利用においても優位性がある。

#### 4.4 通信回線の非対称冗長化

バックアップ回線は、災害などによりメイン回線が被災した場合の通信回線として利用されるため、バックアップ回線の通信速度・通信容量は、メイン回線に比べて低速・低容量で遅延も大きい衛星通信回線を利用するが多い。中央監視装置の収集データ量や収集周期をメイン回線の速度・容量に合わせた場合は、バックアップ回線利用時にデータ欠損する恐れがある。データ欠損を避けるためには、データ収集をバックアップ回線の速度・容量に合わせる必要が生じ、このためメイン回線の通信パフォーマンスが十分に発揮されないという課題があった。

そこで、JFE-SCADA では、各 RTU の通信回線ごとに柔軟にデータ収集パラメータの設定変更を可能としている。それぞれの回線容量に合わせ、図 4 の回線 A~E および回線 X~Z のデータ収集パラメータは、個別に設定できる。

監視・操業拠点ごと・回線ごとのデータ収集パラメータ変更を可能とした非対称冗長化により、種別の異なる通信回線が混在した場合において、それぞれの通信パフォーマンスが最適かつ有効活用される SCADA システムを実現した。

#### 4.5 制御信号の信頼性向上策

ライフラインであるパイプラインには、災害などによりパイプライン自体の破損が生じた場合、被害の拡大を防ぐために緊急的にパイプラインを遮断するための緊急遮断装置が設けられる。万一にも誤って緊急遮断装置が遮断された場合は、ライフラインの供給不良を招く。パイプライン供給維持による信頼性向上を図るため、以下の誤遮断防止措置を講じている。

- (1) 制御コマンド(緊急遮断弁への閉止指令)のコード化  
制御コマンドは、複数ビットによりコード化された信号とし、中央監視装置より送信される制御コマンドが受信先 RTU のコードと完全一致した場合のみ、プロセス(緊急遮断弁)に対して信号出力を行なう。

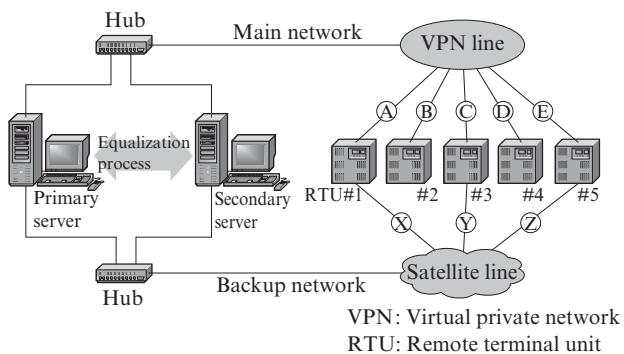


図 4 二重化サーバーと二重化回線による冗長化システム

Fig. 4 Redundant system by duplex server and duplex line

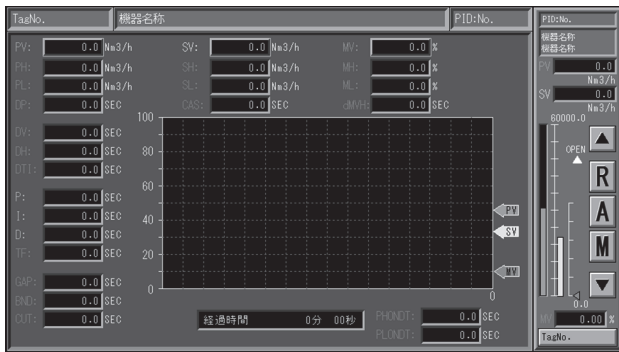


図5 プロセス制御調整パネル

Fig. 5 Example of the adjustment panel for process control

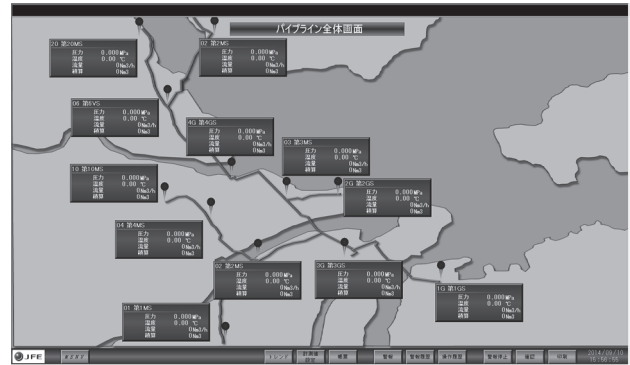


図6 パイプライン全体画面例

Fig. 6 Example of the pipeline overview display

## (2) 信号出力の冗長化

RTUのハードウェア故障による信号誤出力を防止するため、PLCの出力モジュールやリレー回路を二重化し、AND条件でプロセス（緊急遮断弁）への信号出力を行なう。

### 4.6 連続ループ制御モニター

RTUが受け持つ連続プロセスループ制御状態をモニターし、制御パラメータ調整をサポートするプロセス制御調整パネルを実装している。この機能により、JFE-SCADAを計装PLCと組み合わせることにより、中小規模のプロセス制御装置としても活用することができる（図5）。

### 4.7 他システム間インターフェース

JFE-SCADAは各社PLCとの通信ドライバに加え、他システムと接続するためのOPC<sup>\*3</sup>（OLE for process control）、FTP（file transfer protocol）サーバー/クライアントなどの豊富なインターフェース機能を実装することができる。

この機能により、他システムと連携した高度な監視制御システムを構築することができる。

## 5. JFE-SCADAの納入事例

JFE-SCADAを採用した遠隔監視システムの納入事例を紹介する（図6、7）。

### 5.1 パイプラインSCADAシステム

水島エルエヌジー（株）向け岡山天然ガス導管敷設工事（2011年6月完工）の遠隔監視システムにおいて、二重化サーバーと二重化回線により冗長化されたJFE-SCADAシステムを開発し、実機として初納入した。

2015年3月には、JX日鉱日石エネルギー（株）向け八戸LNG（液化天然ガス）ターミナルガス導管敷設工事にお

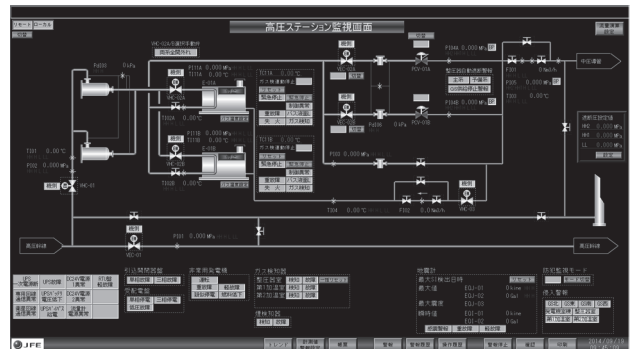


図7 ステーション監視画面例

Fig. 7 Example of the station monitoring display

る遠隔監視システムの完工を予定している。本システムは、ガス供給先の増設を考慮し、30を超える監視・操業拠点に対するシステムの拡張性に対応している。

### 5.2 太陽光発電所SCADAシステム

パイプラインに加えて、JFE-SCADAを太陽光発電所の遠隔監視システム専用パッケージ化し、JFEソーラーパワー津（雲出ソーラーパワー、2013年7月完工）にてSCADAシステムを導入した。2013年度より計11発電所が稼働中であり、2014年度には7発電所の追加稼働を予定している。

太陽光発電所の現場は通常時は無人運転であることから、設備故障などによるイベント発生時は、監視サーバーの電子メール通報機能により、登録メンバーに対し自動的にメッセージ（故障情報）を送信する機能を搭載している。電子メール通報機能では、スケジュール管理により、設定された曜日や時間帯ごとに、登録された複数のメンバーに対してメッセージ送信が可能である。

また、複数の発電所の設備状態ならびに操業実績をJFEエンジニアリング横浜本社にて集中監視するため、各発電所SCADAを統合管理するクラウド技術ベースの統合監視サーバーを構築した。ノートパソコンやPDA（personal digital assistant）などモバイル端末により、任意の場所で各発電所の遠隔統合監視を行なうことができる（図8、9）。

\*3 OPCは、米国Microsoft Corporationの標準インターフェース仕様

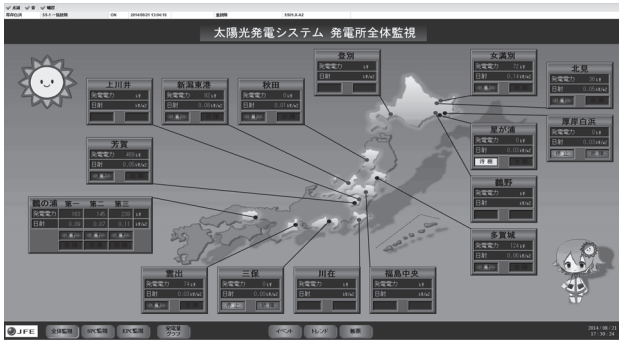


図8 太陽光発電システム全体監視画面  
Fig. 8 Solar power system overview display

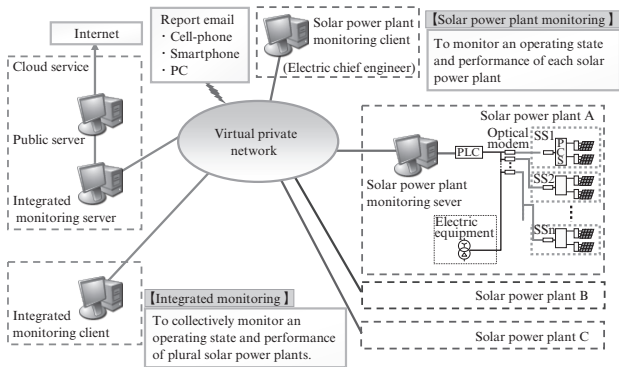


図9 統合監視システム構成  
Fig. 9 Image of integrated system

## 6. 今後の展望

遠隔監視システムの汎用機への変遷にともない、JFE エンジニアリングは SCADA システムの開発に取り組んできた。カスタマイズ性が高いシステム構成により、機能増強やお客様の要望に対して、迅速かつ柔軟な対応が可能となった。

今後は、パイプライン施設における遠隔監視システムへの JFE-SCADA 適用に加え、地熱バイナリー発電設備や船舶用バラスト水処理システムへのパッケージ化対応など、適用範囲を拡大していきたい。また、既存パイプラインのシステム更新やシステム統合の際は、豊富なパイプライン運用ノウハウ、システム構築ノウハウに基づき、移行期間の設備運用への影響を最小限としたシステム更新手順やシステム統合手法を計画立案し、JFE-SCADA への円滑な移行を図っ

ていく。

さらに、当社の保有する Win GAIA<sup>®</sup> (6) (ガス導管網非定常流送シミュレーションシステム) との連携によるオペレーション訓練機能や、気象情報・地震災害情報などオープンデータを活用した SCADA システムの機能拡充を計画している。

また、今年度より、当社の各種プラントの操業データを一元的に保存するビックデータサーバーの稼働を開始している。このサーバーでは、JFE-SCADA の収集したデータを長期に渡って蓄積していくことができる。収集蓄積された情報を解析し有効活用することにより、設備診断 (保守支援) や操業分析への適用と機能拡大を計画している。

## 7. おわりに

遠隔監視システムにおける JFE エンジニアリングの JFE-SCADA 開発への取組みと実績および今後の展望について紹介した。

今後とも、最先端の技術力とノウハウの蓄積により、お客様のニーズに合致したシステムの提案・提供に努めるとともに、お客様の設備の安定操業にこれまで以上に貢献していきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 土井一二, 湊博ほか. パイプライン計装制御システムの高信頼化. 日本鋼管技報. 1984, no. 102, p. 65-76.
- 2) 松本広司, 根津知男ほか. 新東京国際空港のパイプライン能力増強施設. NKK 技報. 1996, no. 155, p. 31-35.
- 3) 月岡誠, 後藤満之ほか. 衛星通信によるパイプライン監視制御システム. NKK 技報. 1996, no. 156, p. 21-25.
- 4) IP-VPN を利用した SCADA システム. JFE 技報. 2004, no. 3, p. 76.
- 5) 各種通信ネットワークメディアを利用した統合 SCADA システム. JFE 技報. 2006, no. 14, p. 72-73.
- 6) 佐藤律夫, 山根総一郎. ガス導管網供給設備計画・運転支援システム「Win GAIA<sup>®</sup>」の高度化. JFE 技報. 2010, no. 25, p. 36-40.



松下 泰史



後藤 満之