

電力中央研究所報告

需要地系セキュア通信ネットワークの構成と検討課題

調査報告：R08014

平成21年7月

財団法人 電力中央研究所

R **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It features a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two thick, curved lines, resembling a stylized 'S' or a swoosh, are positioned above and below the text, framing it. The entire logo is centered horizontally on a plain white background.

需要地系セキュア通信ネットワークの構成と検討課題

大場 英二^{*1} 森村 俊^{*2} 宮下 充史^{*2}
大谷 哲夫^{*2} 木内 舞^{*2}

キーワード：需要家通信
伝送技術
通信プロトコル
セキュリティ
分散形電源

Keywords : Customer communication
Transmission technology
Communication protocol
Security
Distributed generator

Concept of Secure Communication Network in Demand-Area and Research Subject

**Eiji Ohba, Shun Morimura, Michifumi Miyashita,
Tetsuo Otani and Mai Kiuchi**

Abstract

Some significant changes such as introduction of large amounts of distributed generation system, advanced metering system, and demand response system in utility demand-area are expected as a countermeasure to global warming, efficient energy use, and stable energy supply. Communication network that connects between customer and utility for these systems has not been established at this moment. The network also has a possibility to be used for energy usage relating service (ESCO service, home security service using information of home appliance power use etc.).

In this report, we propose a concept of “secure communication network for distribution-area” that accommodates information used in the above systems, and describe requirements for the network in consideration of characteristics of distribution area. The requirements are: cost-effective physical network construction, flexibility to customer/terminal addition and deletion, flexibility to network configuration change, open and integrated communication protocol enabling seamless communication between multi-vendor equipment, and ensuring information security. As the key technologies to meet these requirements, wired/wireless communication technologies, communication protocol, and security technologies are investigated and relevant research subjects are described.

(System Engineering Research Laboratory, Rep. No. R08014)

(平成 21 年 3 月 23 日 承認)

*1 システム技術研究所 通信システム領域 上席研究員
*2 システム技術研究所 通信システム領域 主任研究員

背 景

当所では、将来の低炭素社会の実現やさらなる電化率の向上に対応するため、需給一体的な運用・制御を可能とする「次世代グリッド」の研究・開発に取り組んでいる¹⁾。この実現のためには、監視・制御情報や検針などの情報伝送基盤となる、配電用変電所や営業所と需要家を結ぶ通信ネットワーク（以下、需要地系セキュア通信ネットワークと呼ぶ）の構築が必要不可欠となる。

目 的

需要地系セキュア通信ネットワークが收容すると考えられるアプリケーションやサービスをもとに、この通信ネットワークを構築するための要件と課題を抽出する。

主な成果

1. 通信ネットワークへの要件と検討課題の整理

電気事業にて直接利用されるアプリケーション²⁾に加え、使用電力量などの情報を共有するアプリケーション³⁾、同一機器を制御対象とするアプリケーション⁴⁾を收容対象とした。需要地系ネットワークに関連すると想定される、これらのアプリケーションの主要機器を図1に示す。

收容対象とする通信機器や端末は多数となること、第三者のアクセスが容易な個所に設置されることなどを考慮すると、需要地系セキュア通信ネットワークへの主な要件と検討課題は表1のようになる。さらに、需要地系セキュア通信ネットワークの構築においては、電力会社・需要家による家庭内機器の制御や計量に必要な、機器の制御情報や電力量の情報などを一元的に扱う装置（以下、需要家ゲートウェイと呼ぶ）に必要な機能・構成を明らかにすることも必要である。

2. 解決すべき技術課題の抽出

表1に示した要件を実現するにあたって解決すべき技術課題を物理ネットワークの構築法、通信プロトコルの共通化、セキュリティ確保に関する項目に分類し整理すると表2のようになる。

今後の展開

今後は、物理ネットワークの構築、プロトコルの共通化、セキュリティの確保のそれぞれの課題についてより詳細な検討を進めるとともに、需要家ゲートウェイへの要求機能や装置構成について検討する。

- 注 1) 栗原郁夫、「低炭素電化社会を支える電力供給・利用インフラ 一次世代グリッド:TIPS-」、平成 21 年度電気学会全国大会、S13-5、2009 年 3 月
- 2) 配電系統の運用・監視・制御に関するアプリケーションや検針に関するアプリケーションなど。
- 3) ESCO サービスやホームセキュリティサービスなど。
- 4) 需要家による遠隔からの操作と需給バランス確保のための機器制御など。たとえば、空調機を両者ともに制御対象とすることが考えられる。

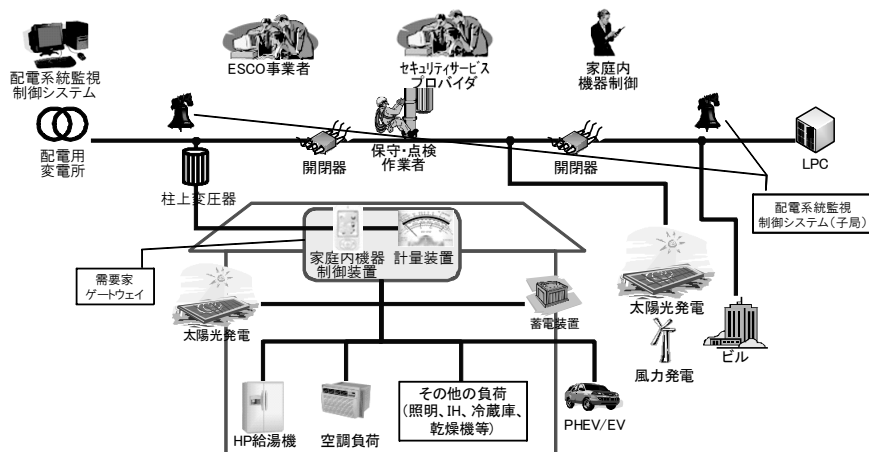


図 1 需要地系セキュア通信ネットワークに関連する主要機器

表 1 需要地系セキュア通信ネットワークに求められる要件と検討課題

要件	背景	検討課題
必要な信頼性を備えた低コストでのネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> 対象箇所数が多い 制御情報などの重要情報も収容 配電自動化機器から需要家までの通信網は未構築 	(a) 配電系統や需要家の状況に応じた適切な有線・無線技術の利用 (b) アプリケーションの要求に応じた信頼性確保 (c) 既設の自営通信ネットワーク、事業者通信ネットワークの使い分け
機器の取付け／取外しやネットワークの構成変更に対する柔軟性の確保	<ul style="list-style-type: none"> 新規需要家の追加や分散形電源の新設などによる変更の頻度が高い 	(d) 物理通信ネットワークへのノード（端末）の追加／削除等に対する容易性確保 (e) プロトコルやアプリケーションレベルでの新規接続／接続変更の容易性確保
多数の機器の相互運用	<ul style="list-style-type: none"> マルチベンダ化 アプリケーション間での情報共有（電気使用量の情報など） 	(f) 機器間の通信プロトコルの共通化 (g) データ形式の共通化
セキュリティの確保	<ul style="list-style-type: none"> 第三者からのアクセスが可能 配電系統の制御信号や需要家の料金情報などの重要情報が伝送される 異なるサービスが同一のネットワークに収容される 	(h) 第三者の侵入や盗聴などの防止 (i) 異なるアプリケーション間の通信の論理的な分離法

表 2 関連する技術と主な課題

項目	主な課題
物理ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> 有線系：配電網のような多分岐ネットワークの設計手法 (a, b, d) 無線系：低需要家密度の地域を対象としたマルチホップ伝送方式の適用性評価 (a, b, d) 共通：通信品質評価 (a, b)、耐環境性評価(a, b)、トータルコスト評価 など(a, b, c)
通信プロトコルの共通化	<ul style="list-style-type: none"> 既存プロトコルの需要地系セキュア通信ネットワークへの適用性評価 (e, f, g) 可用性確保のための通信網の障害時における迂回経路設定方式など (b)
セキュリティの確保	<ul style="list-style-type: none"> 十分な強度の暗号化や機器の取り外しの検知、データの安全な消去などの対策の適用性評価 (h, i) 機器認証の方法（証明書や鍵を安全に配布する方法など） (h) 無線回線に対する妨害の検知と対応 (h)

(括弧内の文字は表 1 の検討課題に対応)

目 次

1. まえがき	1
2. 収容対象アプリケーションにおける通信	1
2.1 収容対象とするアプリケーション	2
2.2 需給一体化運用・制御における通信	2
2.3 配電機器の保守・保全における通信	4
2.4 メータリングにおける通信	5
2.5 デマンドレスポンスにおける通信	5
2.6 その他サービスにおける通信	6
3. 需要地通信ネットワークの要件と検討課題	7
4. 技術課題の抽出	9
4.1 物理ネットワーク構築のための適用技術と課題	10
4.1.1 対象エリアの分類とその特徴	10
4.1.2 物理ネットワークにおける特徴と求められる要件	10
4.1.3 有線・無線通信技術の特徴と要件への対応	10
4.1.4 物理ネットワークにおける技術課題	11
4.2 通信プロトコルに関する技術課題と先行技術	12
4.2.1 通信プロトコルに関する要件と課題	12
4.2.2 プロトコルに関連する先行技術	14
4.3 セキュリティ対策と課題	18
4.3.1 考慮が必要なセキュリティ要素	18
4.3.2 必要されるセキュリティ対策	18
4.3.3 ファイアウォール (FW) 機能の配置	20
4.3.4 需要家GWのセキュリティ対策	21
4.3.5 セキュリティ対策における課題	22
5. まとめ	23
参考文献	23
付録A 需要地系統、需給一体化制御、保全・保守業務の概要	26
A-1 需要地系統	26
A-2 需給一体化運用・制御	26
A-3 点検・調査業務、故障・お客様対応業務における業務の内容	27
参考文献	27
付録B 需要地セキュア通信ネットワークへの適用候補となる有線・無線伝送技術の特徴	29

1. まえがき

近年、ICT（Information and Communication Technology）を活用し、電力系統の運用・監視・制御やその他の業務システムも含め統一的な運用を行うことにより、系統、さらには電気事業の効率的な運営を目指す試みが内外で活発に行われている。当所においては、需要サイドと供給サイドが一体となった省エネ・エネルギー有効利用、分散形電源の有効活用、リアルタイム監視・制御技術などに基づく、大規模停電リスクの極小化、回復力の高い系統制御、設備の維持管理の高度化を目指し、「次世代グリッド（TIPS：Triple I (Intelligent, Interactive and Integrated) Power System）」[1]の検討を進めている。また、海外での取り組みの例としては、米国の GridWise Alliance [2]による取り組み、EUにおける SmartGrids [3]プロジェクト、韓国の Power IT などが挙げられる。

次世代グリッドの実現のためには、多様・広範な情報の伝送を支える通信基盤を確立することが必要である。特に、ますます増加が見込まれる分散形電源への対応や、地球温暖化への対応としての需要サイドを含むエネルギーマネジメントなどにおいて、配電系統の運用・制御・保全や需要家との情報交換にかかわる通信ネットワークは、今後さらに重要な役割を果たすものと考えられる。しかし現状では、コストの問題などから、配電用変電所や営業所、配電系統、分散形電源、需要家を相互に結ぶ電力用の通信ネットワークは構築されていない場合がほとんどである。このため、需要地にかかわる通信ネットワークを低コストで構築する手法の開発を行うことが肝要である。

この通信ネットワークは、関係者以外が物理的にアクセスすることが可能な環境に設置され、また、機器の制御情報や個別の需要家の情報が伝送されることが想定されることから、情報セ

キュリティにも十分に配慮することが求められる。

当所では、この配電系統や需要家にかかわる通信ネットワークを「需要地系セキュア通信ネットワーク」と名付け、その通信基盤の検討に今年度より取り組んでいる。本検討では、分散形電源の活用や需要家機器との協調に基づく需給一体的な運用・制御のための通信、スマートメータなど、新しいメータリングにかかわるサービスや需要家向けのその他のサービスを支える通信ネットワークの構築を目指している。

本報告書では、需要地系セキュア通信ネットワークに收容されると考えられる、電気事業の業務から抽出されたアプリケーションやその他のサービスを対象とし、それらが通信ネットワーク求める要件に基づき、通信ネットワーク構築時の課題について検討した結果について述べる。

以下、2章では需要地系セキュア通信ネットワークが收容対象とするアプリケーションと関連する通信の概要について述べる。3章ではこれらをもとに、ネットワークに求められる要件と関連する検討項目について述べる。4章では、通信ネットワークの構築に重要と考えられる物理ネットワークの構成、通信プロトコル、セキュリティの3項目について、技術の現状と構築における課題について述べる。最後に5章として全体のまとめを述べる。

2. 收容対象アプリケーションにおける通信

本章では、收容対象とするアプリケーションについて、その概要と関連する通信について述べる。なお、一部のアプリケーションには現在研究中のものも含まれており、これらの通信への要求については現時点での想定を示すこととした。

2.1 収容対象とするアプリケーション

需要地系セキュア通信ネットワークでは、電気事業の本来業務である配電系統の運用・制御やその保守・保全、検針にかかわるアプリケーションの情報の他、これらとの情報共有や協調が必要となるアプリケーションを含め、下記を収容対象の候補とした。

- ・需給一体化運用・制御
- ・配電機器の保守・保全
- ・メータリング
- ・デマンドレスポンス
- ・その他のサービス

(1) 需給一体化運用・制御、配電機器の保守・保全

当所では、配電系統の運用制御の方式として「需給一体化運用・制御」と呼ぶ方式の検討を進めている[4]。本検討における配電系統の運用制御方式としてはこの方式を対象とすることとし、その運用・制御方式に基づく情報を収容対象とした。

また、これに付随する、配電機器の保守・保全についても収容対象アプリケーションとした。

(2) メータリング

近年、きめ細かな検針やお客様への送電停止／停止解除などを行う機能を持つ、いわゆるスマートメータに関する検討やその導入が欧米を中心に活発に行われている。日本においても将来的には単なる自動検針ではなく、高い機能を持つメータの導入が予想される。このため、本検討ではこのような高機能のメータの導入を想定し、それに必要な通信を収容するものとした。

(3) デマンドレスポンス

デマンドレスポンスは、需給ひっ迫時などに需給バランスをとるための手法の一つで、当所では、TIPS の検討課題の一つとして取り組んでいる（デマンドレスポンスの概要については 2.5 節に記載）。デマンドレスポンスで

は電力量などの情報を利用すること、需要家機器との通信が必要となることから、本検討での収容対象とすることとした。日本での適用形態については現時点では定まっていないため、本検討ではその通信については欧米での方式を参考に仮定することとした。

(4) その他のサービス

(1)～(3)で述べたアプリケーションのほか、使用電力の情報を利用するアプリケーションや需給一体化運用・制御で対象とする家庭内機器と同一の機器を制御・操作の対象とするアプリケーションとして、下記を収容対象の候補とすることとした。

- ・使用電力量の監視に基づくホームセキュリティサービス
- ・電気の利用診断
- ・需要家による遠隔機器制御・操作

2.2 需給一体化運用・制御における通信

分散形電源の大量導入により、電圧逸脱等の品質面や保護・保安面などで様々な問題が発生する可能性がある。当所では、このような問題の発生を防ぎ、分散形電源の有効活用ができる電力供給システムのオプションとして、これまでに「需要地系統」の研究開発を行った[5]。

表 2-1 需要地系統の運用管理システムを構成する主な装置

種類	役割	設置位置
運用管理メインシステム	需要地系統全体の運用管理 分散形電源の最適制御量演算	営業所又は配電用変電所に1台
運用管理サブシステム	区間の運用管理 地絡事故時における 事故区間分離	区間に1台
低圧系統管理システム	一つの低圧系統の運用管理 電圧管理や停電回避	柱上変圧器に1台
需給インターフェイス (IF)	需要家内機器との情報交換 発電機管理や負荷制御	需要家に1台

表 2-2 地絡発生時の事故区間分離に関する通信の概要

送信端	受信端	通信の内容	発生頻度	許容遅延時間
区分開閉器	運用管理サブシステム	● 異常発生通知	地絡事故発生時	数十ミリ秒程度 (処理全体としては、事故検出や機器動作を含め1秒以内)
運用管理サブシステム	運用管理サブシステム	● 事故発生通知		
運用管理サブシステム	LPC	● 運転モード変更 ● 無効電力注入・停止指令		
運用管理サブシステム	区分開閉器	● 区分開閉器開放指令 ● 線路状況確認		
運用管理サブシステム	需給 IF	● 分散形電源解列指令		
運用管理サブシステム	運用管理メインシステム	● 事故区間分離完了通知		
需給 IF	分散形電源	● 分散形電源解列指令		

LPC: Loop Power flow Controller

表 2-3 系統機器最適制御量決定に関する通信の概要

送信端	受信端	通信の内容	発生頻度	許容遅延時間
需給 IF	運用管理 メインシステム	● 事前計算時：発電量、負荷量の 予測値伝達 ● 平常運用時：発電量、負荷量の 実績値伝達	事前計算用通信は 5～30分おき 平常運転用通信は、 事前計算と異なる場合で 30分おき程度	1～数秒程度 (見込み)
運用管理 メインシステム	需給 IF	● 事前計算時：料金		
運用管理 メインシステム	LPC	● 事前計算時：潮流、横流、 無効電力の制御量 ● 平常運用時：潮流、横流、 無効電力の制御量		
運用管理 メインシステム	運用管理 サブシステム	● 事前計算時：潮流、電圧予測値 ● 平常運用時：潮流、電圧予測値		
運用管理 メインシステム	変電所	● 事前計算時：変圧器タップ値 ● 平常運用時：変圧器タップ値		

需要地系統では表 2-1 に示す装置から構成される運用管理システムにより、平常時における系統機器の最適制御量決定[6]や低圧系統の電圧管理[7,8]、地絡発生時における事故区間分離[9]や低圧系統における停電回避[8,10]などを行う。

さらに、需要地系統をベースとして、分散形電源の発電容量が配電線の容量と同量になった場合の運用・制御方式として、「需給一体化運用・制御」の研究に取り組んでいる。(需要地系統、需給一体化運用・制御のより詳細な説明については付録 A-1, A-2 を参照)

需要地系統及び需給一体化運用・制御における通信は、機器制御を目的とした通信(保護保安にかかわるものを含む)と、監視や計画作成に必要な情報収集を目的とした通信に大別することができる。これらは、遅延時間や可用性の点で要件が異なる。

機器制御を目的とした通信には、低遅延で高

い可用性が求められる。アプリケーションレベルから見たで伝送遅延時間としては、数十ミリ秒以下であることが求められる。また、このような通信を必要とする処理は突然発生するため、必要時に利用できる高い可用性が求められるⁱ。このような通信を必要とするアプリケーションには、地絡発生時における事故区間分離や低圧系統独立運転などがある。一例として、地絡発生時の事故区間分離処理における通信の送受信端や許容遅延時間などを表 2-2 に示す。

機器制御を目的とした通信の中でも、優先度は異なる。たとえば、平常時の制御である電圧適正化に用いる通信よりも、緊急時の制御である地絡発生時の事故区間分離に用いる通信の方

i 具体的な要求信頼度については、アプリケーション自体も研究途上であるため、現時点では明確になっていない。

表 2-4 保守・保全業務に関する通信の概要

業務	送信端	受信端	通信の内容	発生頻度	許容遅延時間
画像監視	カメラ	監視画面端末	• 静止画像又は動画像	数日～1ヶ月 に1回（見込み）	数百ミリ秒程度 （見込み）
	監視画面端末	カメラ	• カメラ操作指令 （ズーム等）	操作時	
保全状態監視	系統設備 （LPC等）	保全用DBサーバ	• 電流、動作信号など （監視対象による）	1日1回 （見込み）	1～数秒程度 （見込み）
現地作業支援	携帯端末	事業所サーバ	• 作業経過・結果	作業時	1～数秒程度 （見込み）
	事業所サーバ	携帯端末	• 設備情報 • 作業情報	作業時	

が、優先度は高い。

監視又は計画作成を目的とした通信では、遅延や可用性に関して厳しい要件を持たない。ただし、データに誤りがないことが強く求められる。このような通信を必要とするアプリケーションには、系統機器最適制御量決定や発電種別管理などがある。発電種別管理とは、再生可能エネルギーを利用した発電か、化石燃料を利用した発電かを把握し、サービスに供するアプリケーションをイメージしている。一例として、系統機器最適制御量決定における通信の送受信端や許容遅延時間などを表 2-3 に示す。なお、これらの通信は機器制御を目的とする通信よりも優先度は低くなるが、相互の優先度は同一で問題ない。

2.3 配電機器の保守・保全における通信

配電系統（あるいは需要地系統）における機器の保守・保全については、文献[11]において、以下の3項目に分類されている。

- 設備管理：配電設備（柱上変圧器等）や電力量計の管理を行う。
- 巡視・点検：自社設備の巡視・点検や、お客さま設備の竣工・定期調査を行う。
- 故障対応（現地対応）：配電設備に故障などにより、現地での故障対応や、お客さま対応（停電対応など）を行う。

このうち、巡視・点検、故障対応における主

な業務内容を付録 A-3 に示す。

配電機器の保守・保全を支援するアプリケーションとしては、機器や周辺の画像監視、機器の状態監視、現地作業支援が考えられる。以下、それぞれのアプリケーションの概要と、通信に対する要件を示す。

機器や周辺の画像監視は、巡視にとって代わるものである。すなわち、保全箇所の画面上で配電機器やその周辺の画像を監視する。動画像あるいは静止画像を利用するため、他のデータに比べると、通信に対する伝送帯域に関する要件は高くなる。

機器の状態監視では、ループコントローラ（LPC: Loop Power Flow Controller）、区分開閉器、配電用変圧器などの運転時状態を監視し、状態監視保全（CBM）や信頼性重視保全（RCM）に必要なデータを収集する。たとえば、将来、区分開閉器が、地絡電流を遮断するために利用されるようになった場合、従来のように定期的に遮断機を交換するのではなく、その接点の消耗度を監視し、適切な時期に部品の交換等を行うことで、効率的な保守を実施することが可能となる。ここで保全用DBサーバと呼んでいる受信端は、営業所等に設置され、保全状態の取得データを保存・管理する計算機を指す。

現地作業支援では図 2-1 のように、作業員に対する情報の提供や、点検情報の自動収集が考えられる。

表 2-4 に画像監視、保全状態監視、現地作業支援に関する通信の送受信端と要件を示す。

2.4 メータリングにおける通信

欧米ではスマートメータと呼ばれる機器の普及が進展している。スマートメータといった場合にどの機能までを含んだものであるのかは、文献ごとに異なる。中には、2.2 節で示した需給一体化運用・制御や 2.5 節で述べるデマンドレスポンスと重複する機能が含まれている。そこで、本報告では、文献[12]を基に、上記重複する機能を除いた以下の機能を実現するものとして捉える。

- ・データ収集（自動検針など）
- ・各種警報（停電情報の発信など）
- ・遠隔スイッチ開閉
- ・不正使用検出

データ収集とは、従来の自動検針のように電力量を取得するものから、電力品質等を管理するために電流や電圧等の瞬時値を測定するものまで、幅広く考えられる。

各種警報については、たとえば停電情報が該当する。現在の配電系統であれば、系統内に電源が存在しないため、配電用変電所の送り出しフィーダの遮断器が開いていれば停電と判断できる。しかし、分散形電源が導入された状態であれば、配電用変電所の停電と需要家の停電は必ずしも一致しなくなる。このため、個別の需要家に関するさまざまな警報をメータリングにおいて収集する必要が生じる。

遠隔スイッチ開閉とは、メータ内に設置されているスイッチを操作する機能である。米国の例であれば、最高 200 A までのスイッチがメータ内に内蔵されている。

不正使用検出とは、メータに不正な操作が行われたことを検出する機能である。イタリアのエネル社にみられるように、海外ではスマートメータの活用によって電力の不正使用が大幅に減少した例がある。通信を利用することで、メータの状態を常に把握することが可能となる。

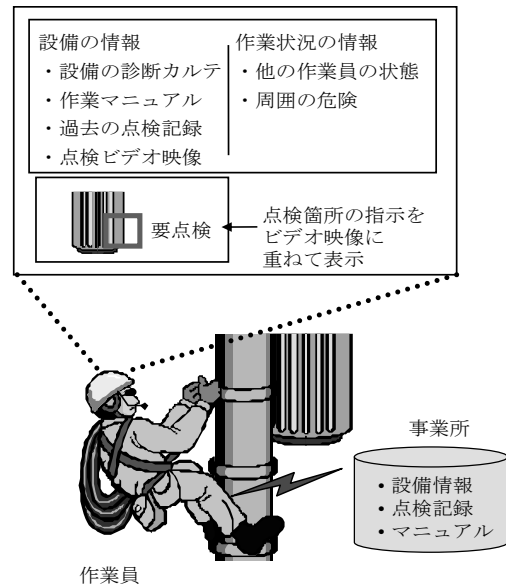


図 2-1 保守現場における作業イメージ

さらには、不正使用を検出した段階で、遠隔スイッチ開閉機能を用いて、電力供給を停止することも可能となる。

表 2-5 に関連する通信の概要を示す。

2.5 デマンドレスポンスにおける通信

欧米では、需給ひっ迫時などにおける需給バランスの確保のための仕組みとして、デマンドレスポンス（DR：Demand Response）と呼ばれる仕組みの導入が行われている。一例として、ニューヨーク独立系統運用機関における DR プログラムでは、前日の電力取引市場において、プログラムに参加する需要家の削減負荷をネガワット（negawatt：負の負荷）として扱い、実際に削減された電力量に応じて費用を支払う仕組みが度入されている[13]ⁱⁱ。DR では削減要求に対して需要家側で自動的に対応を行う仕組み

ⁱⁱ ニューヨーク独立系統運用機関の DR では、このほか通常の負荷シャ断と同様に、契約に基づき電力会社からの要請に応じて負荷を遮断するプログラムも用意されている。

表 2-5 スマートメータに関する通信の概要

送信端	受信端	通信の内容	発生頻度	許容遅延時間
スマートメータ	メータデータ管理システム	<ul style="list-style-type: none"> 単位時間あたりの電力使用量 単位時間あたりの売電量 	15分～	1～数秒程度(見込み)
スマートメータ	運用管理 メインシステムなど	<ul style="list-style-type: none"> 各種警報 	状変時	1秒以下(見込み)
メータ管理システム	スマートメータ	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔操作 	操作時	1～数秒程度(見込み)
スマートメータ	メータ管理システム	<ul style="list-style-type: none"> 不正検出信号 	状変時	1～数秒程度(見込み)

表 2-6 デマンドレスポンスに関する通信の例

送信端	受信端	通信の内容	発生頻度	許容遅延時間
デマンドレスポンスプロバイダ	家庭内 DR 端末	<ul style="list-style-type: none"> 料金情報の提示 	1回/日	秒オーダー(見込み)
インターバルメータ(スマートメータ)	デマンドレスポンスプロバイダ	<ul style="list-style-type: none"> 使用電力量(負荷削減量) 	1回/15分～1回/日程度	

表 2-7 その他サービスに関する通信の例

アプリケーション	送信端	受信端	通信の内容	発生頻度	許容遅延時間
電気の利用診断	スマートメータ	ESCO サービスプロバイダ	<ul style="list-style-type: none"> 使用電力量 	1回/日	秒オーダー(見込み)
セキュリティサービス	スマートメータ	セキュリティサービスプロバイダ	<ul style="list-style-type: none"> 使用機器情報 	機器の動作タイミング	秒オーダー(見込み)
遠隔機器制御・操作	外部インターネット端末	HEMS、BEMS 装置	<ul style="list-style-type: none"> 機器制御情報 	リクエスト時	秒オーダー(見込み)
	HEMS、BEMS 装置	外部インターネット端末	<ul style="list-style-type: none"> 機器状態情報 	リクエスト時	秒オーダー(見込み)

も取り入れている。DR は、ピーク時の需要削減の手段として、また、供給力過剰の場合のボトムアップの手段としての活用がある。

DR のサービス提供は、電力会社により直接行われる場合のほか、アグリゲータと呼ばれる組織が行う場合がある。後者の場合、アグリゲータは需要家を取りまとめ、電力会社に対する窓口となり、電力会社との協調・交渉を行う。

日本における DR の適用については現在検討が進められている段階であるが、DR のための通信としては、表 2-6 に示す項目が想定される。

具体的には電力会社－需要家間、または、DR サービスプロバイダ－需要家間において需要の実績値や料金などの情報のやり取りを行うことが必要となる。

2.6 その他サービスにおける通信

需要地系セキュア通信ネットワークは上記の

アプリケーション以外に、需要家の利便性を向上させる各種のサービスにも利用可能である。

需要家内・需要家間を結ぶネットワークを利用するサービスには各種が考えられる。このうち、電力会社の業務に関連の深い下記のサービスを抽出し、対象とした。

・電気の利用診断

家庭内の電気機器の使用状況に基づき、省エネルギーや電気料金の低減となるような利用方法のアドバイスを ESCO (Energy Service Company) 事業者などにより行う。このため、ESCO サービスの提供者は各需要家のメータから使用電力量の情報を収集する必要がある。

・使用電力量の監視に基づくホームセキュリティサービス

ホームセキュリティサービスプロバイダなどが家庭内の使用電力量を監視することより、家庭での生活活動の有無を推定し、その結果を関係者などに通知する。このシステムでも、各家

庭の使用電力量に関する情報をメータから収集する必要がある。関係者への通知については事業者網により行われるものと想定し、ここでは対象としていない。

・需要家による遠隔機器制御・操作

ここでは、外出先等から空調機器等の使用状況（切り忘れ等）を確認したり、帰宅前に暖房を入れておく、などのために機器を遠隔から操作したりするアプリケーションを想定している。このようなサービスでは、制御や情報収集の対象となる機器が需給一体化運用・制御における制御対象と同一となることも想定されるため、収容の対象とした。

家庭内・ビル内での機器との通信には HEMS（Home Energy Management System）や BEMS（Building and Energy Management System）といったシステムが利用されるものと想定し、外部との通信についてはこれを經由するものとした。

表 2-7 に、これら三つのアプリケーションにかかわる通信の概要を示す。

3. 需要地通信ネットワークの要件と検討課題

2 章に示した各種アプリケーションの通信の内容に基づき、各アプリケーションの送受信端を抽出すると、図 3-1 に示す通りとなる。したがって、需要地系セキュア通信ネットワークはこれらの通信主体を相互に接続するネットワークとなる。このネットワーク構築における要件としては、以下が挙げられる。

(1) 必要な信頼性を備えた低コストでのネットワーク構築

需要地系セキュア通信ネットワークは適用箇所数が膨大なものとなるため、低コストでの通信ネットワーク構築が重要な課題となる。特に、現状ではあまり整備されていない、需要家までの通信ネットワークの構築を低コストで行うこ

とが肝要である。この際、配電系統や需要家の状況（需要家の密度や配電柱間の距離など）に応じて適切な物理ネットワークの構築技術（有線・無線技術）を利用することが必要である。

また、要求される信頼度によっては、通信障害時の代替経路の確保も考慮する必要がある。このためには、物理ネットワークの構成と障害個所の迂回や切り替えを行う通信方式の検討が必要となる。

(2) 機器の追加・削除／ネットワークの構成変更に対する柔軟性の確保

配電系統では、新規需要家の追加や新たな分散形電源の設置など、基幹系統に比べて高い頻度での構成変更が想定される。このため、通信先が追加／削除された場合にハードウェア的／ソフトウェア的に柔軟に対応できる仕組みが必要となる。すなわち、物理通信ネットワークへのノード（端末）の追加／削除等に対するやプロトコル・アプリケーションレベルでの新規接続／接続変更の容易性を確保する仕組みについて検討することが必要となる。このため、適切な無線方式の利用や分岐が容易な光ファイバネットワークシステムの検討などの物理ネットワークの構築技術や、プラグアンドプレイのようなプロトコル技術の検討が必要となる。

(3) 多数の機器の相互運用

需要地系セキュア通信ネットワークが対象とする範囲、機器は膨大な数に上るため、単一のベンダにより通信ネットワークを構築することは困難であると考えられる。このため、異なるベンダの装置間でもシームレスに通信できることが必要である。また、使用電力量などの情報は複数のアプリケーションで利用されることが考えられ、このような情報については形式が共通化されていることが望ましい。このため、機器間の通信のプロトコルは適当な範囲で共通化されていることが必要である。

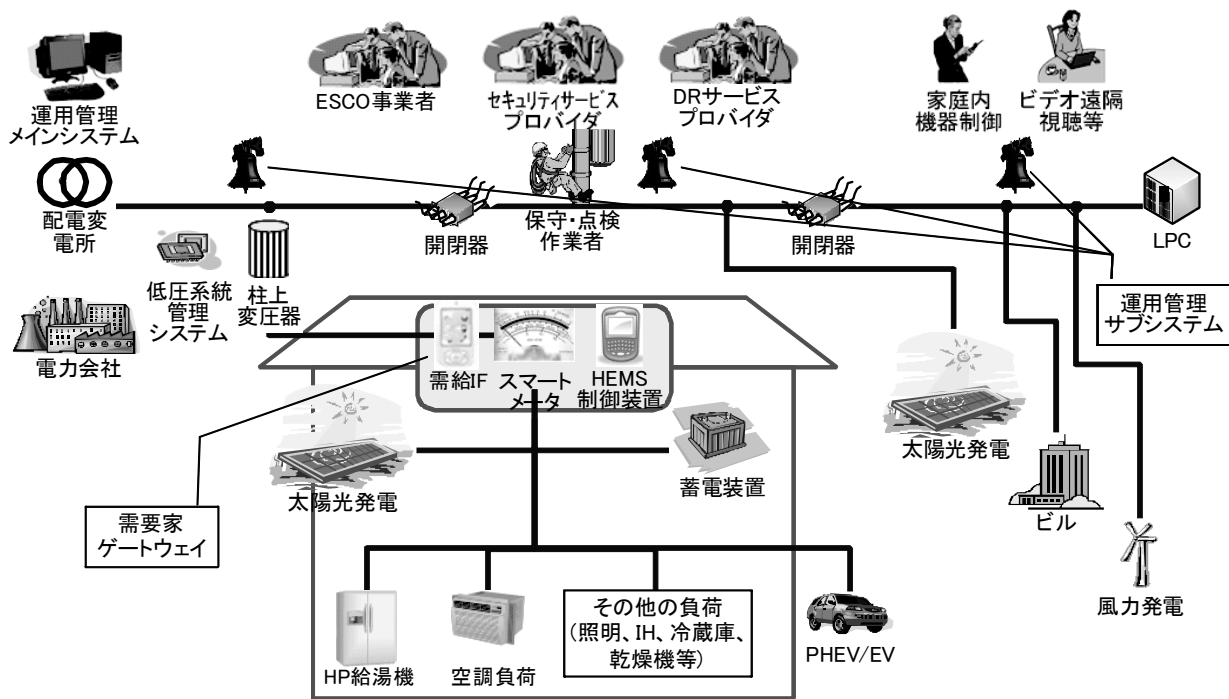


図 3-1 需要地系セキュア通信ネットワークにかかわる各種アプリケーションの通信主体

(4) セキュリティの確保

需要地系セキュア通信ネットワークは、配電系統に沿った設置や無線の利用が想定されることから、外部の第三者からのアクセスが容易な環境にある。また情報の内容として、配電系統の制御信号や需要家の料金情報・使用機器の情報などが伝送され、さらに、異なるサービスが同一のネットワークに収容される可能性がある。このため、外部からの侵入や盗聴などの防止、異なるアプリケーション間の通信の論理的な分離のためのセキュリティ機能についても十分な配慮が必要となる。

(5) 自営通信ネットワークと事業者通信ネットワークの適切な使い分け

既設のネットワークとしては、電気事業の自営通信ネットワークとして配電自動化のためのネットワークが敷設されているが、需要家までを結ぶ自営通信ネットワークは敷設されていない状況が大半である。一方、需要家までをつなぐネットワークとしては、現状では7割を超える世帯においてインターネットへのアクセスが

可能な回線を所有していると推定されⁱⁱⁱ、アプリケーションの種類と要求される通信性能・信頼性に応じてこのような事業者の通信ネットワークを活用することも考えられる。

表 3-1 は、電気事業者が配電自動化（需給一体化運用・制御）のための自営通信ネットワークを有しているとの前提で、自営通信ネットワークと事業者通信ネットワークにそれぞれのアプリケーションを収容するか、について代表的なパターンを示したものである。今後の検討においては、物理ネットワークのコストなどを勘案し、適切な使い分けを検討していく予定である。

(6) 配電系統と需要家の接続点における機器の機能の整理とその実現法

2章で述べたように、需要家と配電系統を接

iii 文献[14]によれば、インターネットの世帯普及率は87%、そのうちダイヤルアップ回線以外の割合が約83%であることから、7割強の家庭でインターネットによる常時接続可能と推定した。

表 3-1 自営通信ネットワークと事業者通信ネットワークの使い分け

パターン	内 容
パターン 1	<ul style="list-style-type: none"> ・需要家まで自営通信ネットワークを敷設 ・自営通信ネットワークを主幹業務以外のサービス（セキュリティサービス等）にも活用
パターン 2	<ul style="list-style-type: none"> ・需給一体化運用制御のために需要家まで自営通信ネットワークを敷設 ・オプションサービス等の通信は事業者通信ネットワークを利用
パターン 3	<ul style="list-style-type: none"> ・開閉器／柱上変圧器までは自営通信ネットワークで構成 ・需要家までは通信事業者通信ネットワークを利用

続する部分には、需給一体化運用・制御の一部を担う機器として需給 IF を、また、メータリング用の機器としてスマートメータに相当する機器を設置する必要がある。さらに、家庭内の機器については HEMS などを利用した制御が行われると想定され、このためのコントローラとなる装置が必要である。これらの機器については、それぞれが複数のアプリケーションに情報を提供する／複数のアプリケーションから同一の機器を操作する状況が発生することが想定されるため、これらの協調をとることが必要となる。例えば、電力量などの情報は DR や ESCO サービスなどにも必要であるため、これらのサービスとの情報の共有が必要となる。

このため、これら三つの機器の機能を担う装置として、需要家ゲートウェイ（GW）と呼ぶ装置の導入が有効と考えている。

需要家 GW については、需給 IF／スマートメータ／その他のサービスのための機能需要家の状況に応じて適宜追加・削除できることが求

められるほか、上述のように各種の制御の協調や情報共有などの方式の検討が必要である。これらの機能・要件についても今後検討を進める予定である。

以上の要件のうち、(1)、(2) については、主に物理ネットワークの構築技術に関する課題、(2) については物理ネットワークの構築技術とプロトコルに関する課題、(3) についてはプロトコルに関する課題、(4) については情報セキュリティに関する課題であり、4 章においてそれぞれの技術課題についてより詳細に検討する。

4. 技術課題の抽出

本章では、3 章に示した三つの項目について、現状技術の動向、需要地系セキュア通信ネットワークへの適用における要件、今後の技術課題について述べる。

表 4-1 対象エリアの分類

		低圧システム管理システムの設置場所	需要家 GW-低圧システム管理システム間距離	隣接需要家 GW 間距離	配電地中化	開閉器区間	柱上変圧器間隔
商業地域	高圧需要家（単独）	—	—	—	有	短	—
	低圧需要家（集合）	敷地内変圧器	短～中（～100m）	短～中（～30m）			
住宅地域	低圧需要家（単独）	最寄り柱上変圧器	中（～100m）	短～中（～30m）	有	中	中
	低圧需要家（集合）	敷地内変圧器					
郊外・農村地域	低圧需要家（単独）	最寄り柱上変圧器	長（～500m）	中～長（～100m）	無	長	長

4.1 物理ネットワーク構築のための適用技術と課題

4.1.1 対象エリアの分類とその特徴

3章で述べた通り、需要地系セキュア通信ネットワークの配電系統側には運用管理メインシステム、運用管理サブシステムなどが設置され、需要家側には需要家 GW が設置されると想定している。物理ネットワークの構成は、これらの機器間の距離やその数に大きな影響を受ける。このため、ここでは表 4-1 に示すように、機器間の距離に応じ、対象エリアを商業地域／住宅地域／郊外・農村地域の三つの地域に区分化し、検討することとした。

以下にそれぞれの区分の特徴を示す。

商業地域は、主にビル街、オフィス街などを指している。この地域は高人口密度または高電力機器密度で高圧需要家も多く、また、配電線は地中化されている場合が多いものと想定した。

住宅地域は戸建て住宅やマンション等が立ち並ぶ一般住宅地であり、人口密度は比較的高く、配電網は配電柱を使った場合と地中化されている場合の両方が存在するものと想定した。

なお、商業地域、住宅地域の集合住宅等においては、各家庭に需要家 GW が設置され、これらの情報が適当な個所で集約されるものと想定した。

郊外・農村地域については人口密度が低く、配電柱を使った配電線長および柱上変圧器間の距離が比較的長いものと想定した。

4.1.2 物理ネットワークにおける特徴と求められる要件

需要地セキュア通信ネットワークの物理ネットワーク構築における特徴的な項目として、以下があげられる。

- ・対象となるエリアの広さ、需要家の密度や配置の多様さ

- ・多様かつ多数の接続機器
- ・アプリケーションごとに大きく異なる伝送特性上の要求条件
- ・需要家および電力設備の異動・追加等によるネットワーク構成変化

これらの特徴から、物理ネットワークには以下のような要件が求められる。

・低コスト性

低コストで広いエリアをカバーでき、かつ多数の多様な機器間を接続可能であること。

・高信頼性

需給一体化運用・制御にかかわる制御信号などについては高信頼で伝送できること。

・低遅延・大容量性

障害時の保護制御のための信号を低遅延で伝送できること。また、保守における画像利用が可能とする広帯域の伝送ができること。

・保守・保全の容易性

広いエリアに伝送路、機器が設置されるため、保守・保全が容易であること。

・構成変化に対する柔軟性

需要家の異動や工事などに伴う構成変更に対する柔軟性をもつこと。

4.1.3 有線・無線通信技術の特徴と要件への対応

需要地系セキュア通信ネットワークへの適用候補となる有線・無線伝送技術について調査し、伝送媒体や伝送方式に応じたコストや信頼性などの特徴を付表 B-1 にまとめた。これらの特徴と、前述した要件との対応を考慮すると、有線・無線のそれぞれの技術によるネットワーク構築の得失は図 4-1 のようにまとめられる。

これらの検討から、一例として 4.1.1 項で述べた各地域区分に対し、それぞれ表 4-2 に示す方式を利用する構成が考えられる。たとえば、無線の通信距離と安定性、冗長路構成の可否を考慮すると、低圧系統管理システムより上位の

需要地系セキュア通信ネットワークの物理的特徴	物理ネットワーク構成への要件	有線技術の得失	無線技術の得失
広いエリア	低コスト性	○長距離伝送可能 ○PON(Passive Optical Network)で多数の接続可 ×新規の敷設は高コスト	○早期に設備の設置可能 ○1つの基地局に多数の接続可 △小セルの場合多数の基地局が必要
多種多様かつ多数の接続機器			
アプリケーションごとに大きく異なる伝送特性上の要求条件	高信頼性	○通信妨害に強い ○通信特性が安定 ○リング構成可能	×通信妨害(ジャミング)に弱い △通信特性が不安定
需要家および電力設備の移動・追加等によるネットワーク構成変化	高速・大容量性	○光ファイバは高速・大容量 ○波長多重などで異種の信号を容易に多重可	△高速無線技術進展中
	保守保全の容易性	×伝送路の故障点が分かりにくい ×断線時の張り替えが大変	○災害時や故障時は機器の取り替えで済む ×遮蔽や混信などの問題がある
	構成変化に対応する柔軟性	×敷設後の構成変更は困難	○基地局・端末の移動が容易 ○アドホックネットワーク可能

図 4-1 有線・無線技術によるネットワーク構築の得失

システム管理サブシステム等との通信には有線方式が有望と考えられる。また、追加・削除の頻度が高い需要家 GW においては、ノードの設置・移動が容易な無線通信方式が有望である。

4.1.4 物理ネットワークにおける技術課題

(1) 有線系技術の課題

・故障個所の早期発見手法

有線系においては、断線等が発生すると配下の需要家への通信が遮断されるため、早急に復旧する必要がある。そのためには、故障箇所の早期発見手法を開発することが最も重要である。

・多分岐ネットワークの設計手法

光ファイバ断線時の対応としては当初からリングネットワークのような冗長構成を採用することが考えられるが、光ファイバリングネットワークでは経路途中への機器追加が容易ではない。そのため、要所に波長単位で光信号を Add/Drop できる構成が考えられる。波長分割多重方式では、インターネット接続サービスと需要地系セキュア通信ネットワーク用回

線で光ファイバ伝送路を共有しつつ、かつ波長単位では完全に独立するなど、伝送路敷設コストの低減にメリットがある。

配電網など分岐の多いネットワークの構築においては、これらの技術組み合わせた設計手法の確立が必要である。

(2) 無線系技術の課題

・端末設置時における通信品質の評価手法

集合住宅においては狭い敷地内に多くの無線機器が配置されることになるため、周波数チャンネルの不足による相互干渉が大きな問題となる可能性がある。このため端末設置時の通信品質を評価し、適切な設計を行う手法の開発が必要である。

表 4-2 各地域における適用方式の例

地域区分		適用方式例
商業地域	高压需要家(単独)	すべて有線接続
	低压需要家(集合住宅)	光シングルスターや光リング中継ノードまでは無線 LAN、中継ノード-管理システム間是有線
住宅地域	低压需要家(戸建て住宅)	携帯電話や無線 LAN、特定小電力無線等
	低压需要家(集合住宅)	中継ノードまでは無線 LAN、中継ノード-管理システム間是有線
郊外・農村地域	低压需要家(戸建て住宅)	携帯電話や無線 LAN 等を利用 マルチホップも検討対象

・マルチホップ伝送方式の適用性

農村・郊外地域においては、有線伝送路の設置がコストの面で問題となる。これを解決する手段としては、マルチホップ伝送方式が有効であり、その適用性評価が必要である。

・その他の課題

このほか、無線系技術における課題としては、管理の容易な運用方法、適切なチャンネルへの自動設定手法、干渉の少ない通信方式などがある。

(3) その他、一般的課題

その他の課題としては下記が挙げられる。

- ・障害発生時の早期迂回・復旧手法
- ・家庭内電力機器との接続手法
- ・データ通信サービスとの統合手法
- ・実際の機器における通信品質評価
- ・雷サージ等に対する耐性評価
- ・回線設計手法
- ・トータルコスト評価

4.2 通信プロトコルに関する技術課題と先行技術

需要地セキュア通信ネットワークの通信プロトコル及び通信主体については、以下のような要件が存在する。

- ・相互運用性
- ・置換性の確保

・保守性の確保

・可用性の確保

・適切なスループット確保

・情報通信システムアーキテクチャの整理

なお、本報告書における、「相互運用性」・「置換性」・「保守性」・「可用性」の定義を表4-3に示す[15, 16, 17]。

本節では上記の要件の背景について考察し、これらの要件を満足させるために必要な課題について述べる。さらに、これらに関連する既存技術を調査した結果に基づき、上記の要件に対する充足性について評価する。

4.2.1 通信プロトコルに関する要件と課題

・相互運用性及び置換性の確保

相互運用性及び置換性の確保は、今後BEMS・HEMSと需要地システムの運用管理システムとの相互接続や、スマートメータとDRプロバイダとのデータ交換のために欠かせない。相互運用性が確保されていない場合、実現できる機能の種類が少なくなったり、接続試験の個別実施などにより構築・保守コストが増大したりする問題が生じると予想される。また、置換性が確保されていないと、大量に存在する装置を同じ製品で統一しなければならず、ベンダーロックイン（製品納入ベンダに依存せざるを得な

表 4-3 相互運用性・置換性・保守性・可用性の定義

用語	定義
相互運用性	JIS X 0001 にて示されている以下の定義に従う。 「それぞれの機能単位に固有な特性に関する知識を利用者がほとんど又は全く必要とせず、各機能単位が互いに通信誌、プログラムを実行し又はデータを転送する能力」
置換性	JIS X 0129-1 にて示されている以下の定義に従う。ただし、「ソフトウェア製品」と記載されている部分については、「機能単位」と読み替える。 「同じ環境で、同じ目的のために、他の指定されたソフトウェア製品から置き換えて使用することができるソフトウェア製品の能力。」
保守性	JIS X 0129-1 に示されている以下の定義に従うこととする。 「修正のしやすさに関するソフトウェア製品の能力。修正は、是正若しくは向上、又は環境の変化、要求仕様の変更および機能仕様の変更によりソフトウェアを適応させることを含めてもよい。」
可用性	JIS X 0014 にて示されている以下の定義に従う。 「必要となる外部資源が与えられたときに、ある時点において、またはある一定の期間、機能単位が決められた条件のもとで要求された機能を満たせる状態にある能力。」

表 4-4 情報通信アーキテクチャの整理のための視点（側面）[20]

	静的側面の例	動的側面の例
機能的側面 (コンポーネント モデリングにより設計)	・クラス図によるコンポーネント間の静的構造（クラスの階層化・構造化・インタフェース）の定義	・シーケンス定義図によるコンポーネント間の動的関連の定義
実行基盤的側面 (オペレーショナル・ モデリングにより設計)	・ノード関連図による実行主体（ノード）の定義 ・ノードの配置個所、配置範囲、ノード間の関連の定義	・シーケンス図による機能の実行ステップの定義

い状況)などの問題が生じる恐れがある。

相互運用性及び置換性を確保するために、OSI 参照モデルにおけるデータリンク層からアプリケーション層にいたる各通信プロトコルの共通化は必須条件である。しかし、国内の配電自動化システムにおける子局と親局の通信や自動検針システムにおける通信は、未だに共通化されていない。そこで、標準の通信プロトコルが、需要地系セキュア通信ネットワークにて利用可能であるかを検証する必要がある。

・保守性の確保

保守性については、通信プロトコルを実装したソフトウェアを対象とする。

保守性の確保は、機器点数が膨大な数に上る需要地系セキュア通信ネットワークの保守コスト抑制に貢献できる。このためには、JIS X 0129-1 で示されているように、解析性、変更性、安定性、試験性を確保することが求められる。

・可用性の確保

可用性の確保は、特に機器制御にかかわる通信で重要視される。たとえば、地絡事故区間分離において、事故情報や区分開閉器への開閉指令、分散形電源への解列指令が通信できなければ、要求時間内での分離ができず、人的あるいは物的損害を与える恐れがある。可用性を確保するためには、故障の頻度を左右する機能単位の成熟性を向上させ、障害許容性と回復性を高めることが求められる。

このため、需要地系セキュア通信ネットワークの特徴を考慮した、障害時の代替経路確保や

データの連続送信や多ルート送信などの技術が必要である。

・適切なスループット確保

需要地系セキュア通信ネットワークでは、2章で示したように様々なアプリケーションが収容される。一方で、通信ネットワークの資源は必ずしも豊富とは限らない。たとえば、装置を収容する回線の伝送速度が遅い可能性もある。

このような状況において、それぞれのアプリケーションが様々な局面において、適切なスループットを確保する必要がある。このためには、本通信ネットワークに適した輻輳制御方式、優先処理、TCP/UDP の適切な利用、通信個別のスループット管理等が求められる。

・情報通信システムアーキテクチャの整理・確立

これまで述べてきた四つの要件を体系的に克服するためには、需要地系セキュア通信ネットワークに関する情報通信システムの構成（以下、IT アーキテクチャと呼ぶ）と構成要素（装置など）を明らかにし、その関係を整理することが必要である。

IT アーキテクチャ^{iv}[18]の整理・確立はシステム運用保守費の増大、システム統合・連携の

^{iv} 独立行政法人情報処理推進機構の調査報告では、以下のように定義している：「ビジネス（業務）、システム化要求、技術要件等、パーソナルの問題からシステム技術に関する要件までを、目的・視点、対象に応じて体系的に整理しながら、最適なシステム構築の全体像を形成するもの」

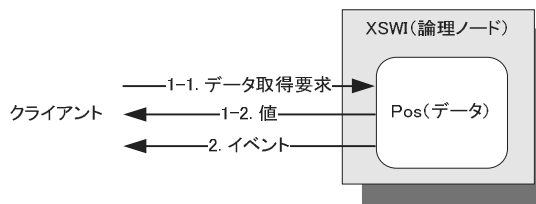


図 4-2 IEC 61850 におけるデータ交換

困難、IT リスクの増大などの問題に有効であるとされている[19]。

- ・ビジネス・ニーズへの対応の遅滞
- ・既存資産の再利用性の低下
- ・IT ガバナンスの欠如

IT アーキテクチャは様々な視点から整理することが必要であるとされている。たとえば、IBM では、IT アーキテクチャの側面として表 4-4 に示すように、機能的と実行基盤的、動的と静的の四つの側面によりアーキテクチャを整理する方法を提案している[20]。

需要家 GW は、需給一体化運用・制御、メータリング、デマンドレスポンス、その他サービスの各アプリケーションにかかわる。さらに、需要家内に設置されるシステム（BEMS や HEMS など）との連携を担う。したがって、需要家ゲートウェイをどのような装置あるいはソフトウェアとして構成するかを明らかにすることが重要である。

4.2.2 プロトコルに関連する先行技術

本項では、需要地系セキュア通信ネットワークと対象が重なる先行技術の概略と、4.2.1 項で示した各要件に対する有用性の評価を述べる。先行技術については、標準的なものや需要地系統向けに先行研究がなされているものを中心に取り上げる。

・IEC 61850

IEC 61850 は、本来、変電所自動化システムのために作成された通信技術の規格である。しかしながら、その適用範囲は拡大しつつあり、

制御所—変電所間通信、風力発電の監視制御、配電自動化システム、分散形電源の監視制御に関する規格が完成あるいは作成途上段階である。

IEC 61850 の主な特徴は、特定の技術に依存しない仕様として、通信の送受信主体として論理ノード[21]と呼ばれる要素と、アプリケーションレベルでのデータ交換用インタフェース（ACSI: Abstract Communication Service Interface）[22]を規定している点である。これらを用いたシステムのイメージを図 4-2 に示す。論理ノードは、開閉装置や変圧器といった電力機器や、三相交流の測定値などの単位で、作成されている。図 4-2 に示した XSWI という論理ノードは開閉器を表す。論理ノードには、複数のデータクラス[23]が含まれる。たとえば、図 4-2 に示した Pos は DPC（Controllable Double Point）というデータクラスによって、開閉器の開閉状態と制御に関するデータを管理するとともに、データ交換のためのインタフェースを提供する。クライアントはこのインタフェースに基づいた要求を論理ノードあるいはデータクラスに送信し、その応答を受け取る。また、データクラスから自発的にクライアントへデータを提供する方法も用意されている。ただし、クライアントそのものは規格化対象ではない（IEC 61850-1 Section 9.4.3 [24]参照）。

IEC 61850 では、具体的な技術への対応付けも行っている[25]。クライアントからの要求に基づくデータ交換については、アプリケーション層に MMS（Manufacturing Message Specification）[26]を、その下位層には TCP/IP を利用する。一方、イベントの送信には、ユーザデータをイーサネットフレームに直接埋め込んで送信する。

需要地系セキュア通信ネットワークの課題に対する IEC 61850 の技術[27,28,29]は、表 4-5 に示すとおりである。このうち、相互運用性については、IEC 61850 の規格化（文書化）だけで

COSEM インタフェースモデル (データ)
ACSE+xDLMS (アプリケーション層)
ラッパー (トランスポート層)
TCP/IP (トランスポート層)
IPv4 (ネットワーク層)
データリンク層
物理層

図 4-3 TCP/IP ベースの
IEC 62056 プロトコルスイート

は不十分であることから、関係企業によってユーザグループが結成され、実装レベルの問題解決や規格へのフィードバック等を行っている。この他、IEC 61850 を利用しても、保守性や適切なスループットの確保については課題が残る。

・ IEC 62056

IEC 62056 は、メータ読取、料金、負荷制御に関するデータ交換を目的とした通信規格である。主にスマートメータが通信主体となるため、需要地系セキュア通信ネットワークにおけるメータリングやデマンドレスポンスに関係する。

IEC 62056 では、複数のプロトコルスイートの中からユーザが選択することができる。ここでは国内の電力会社を含め広く普及している TCP/IP をベースとしたプロトコルスイートに着目する。

TCP/IP をベースとしたプロトコルスイートの概要を図 4-3 に示す。最上位に位置するのは、COSEM (COmpanion Specification for Energy Metering) インタフェースクラスと呼ばれ、メータリングデータにかかわるクラスと通信設定

にかかわるクラスを定義している[30]。

アプリケーション層は、以下の三つの要素を必ず含む[31]。

－ACSE (Association Control Service Entity)

アプリケーション間のアソシエーションの確立・維持・解放を司る。

－ xDLMS_ASE (Extended Device Language Message Specification Application Service Entity)

COSEM アプリケーション間のデータ交換を司る。

－CF (Control Function)

アプリケーション層で用意しているサービスが、適切な ACSE や xDLMS_ASE のプリミティブ、及び、下位層のサービスを呼び出す方法を指定する。

ラッパーは、トランスポート層に位置し、以下の役割を担う[32]。

－OSI スタイルのサービスを、TCP/UDP 上 に実現する。

－TCP/UDP の上に、wPort と呼ばれるアドレッシング能力を加える。

－転送すべきデータの長さに関する情報を提供する。

需要地系セキュア通信ネットワークにおける課題に対する IEC 62056 の技術については、表 4-6 に示すとおりである。基本的には IEC 61850 の場合と同じように、相互運用性確保が目的となっているが、それ以外の課題に対して十分な対処がなされているとは言い難い。

表 4-5 需要地系セキュア通信ネットワークの課題に対する IEC 61850 の技術

課題	IEC 61850 における対応
相互運用性・置換性の確保	相互運用性確保が規格化の目的だが、規格だけでは不十分 置換性は規格化の対象外 (IEC 61850-1 Section 4[27])
保守性の確保	ツールでのサポートを明示 (IEC 61850-4[28]) 具体的な保守性確保の方法は規格化対象外
可用性の確保	冗長構成を規格化中
適切なスループットの確保	遅延時間を測定する対象を明示 (IEC 61850-5 Fig. 5[29]) 通信制御自体は規格化対象外

表 4-6 需要地系セキュア通信ネットワークの課題に対する IEC 62056 の技術

課題	IEC 62056 の技術
相互運用性・置換性の確保	相互運用性確保が規格化の目的 置換性に関する記述なし
保守性の確保	インタフェースクラスの保守に関する記述有 (IEC 62056-62 Section 6 [30])
可用性の確保	アソシエーション管理を行う
適切なスループットの確保	TCP/IP を用いた場合の特段の規定なし

表 4-7 需要地系セキュア通信ネットワークの課題に対する ANSI C12 の技術

課題	ANSI C12 の技術
相互運用性・置換性の確保	データ及びアプリケーション層での相互運用性確保が目的 置換性に関する記述なし
保守性の確保	規格の中では特に記述なし
可用性の確保	規格の中では特に記述なし/トランスポート層以下に依存
適切なスループットの確保	規格の中では特に記述なし/トランスポート層以下に依存

・ ANSI C12

ANSI C12 も IEC 62056 と同様に自動検針を主な対象にした通信規格である。遠隔からメータ上のデータを読み書きする場合に関連する規格としては、表形式のデータを対象とした ANSI C12.19 と、アプリケーション層を対象とした ANSI C.12.22 がある。このうち、ANSI C12.22 は承認作業段階にある。

ANSI C12.22 では、PSEM (Protocol Specification for Advanced Metering) 及び拡張 PSEM (EPSEM) を用い、ANSI C12.19 で定義された構造を持つデータを交換する[33]。PSEM のサービスでは、ANSI C.12.19 で定められた表の全体や一部に対する読み書きのためのサービスや、ログオン/ログオフなどセッションの確立や解放のためのサービス等が用意されている。ANSI C12.19 では、測定データだけでなく、Procedure Table と名付けられた処理を担う表も用意されている。Procedure Table を利用することで、メータにおける日時の設定や負荷プロファイルの開始・停止などを行うことが可能となる。ANSI C12.22 からは、Procedure Table への書き込みを通じて、処理の起動や応答データの取得を行う。

ANSI C12.22 の実装方法としては、ACSE ベースのものと、IP ベースのものがこれまでに

示されている[34]。

需要地系セキュア通信ネットワークの課題に対する ANSI C12 の技術は、表 4-7 に示すとおりである。需要地系セキュア通信ネットワークに適用可能な ANSI C12 の技術は、上記のようにデータを定めている ANSI C12.19 とアプリケーション層のプロトコルを定めている ANSI C12.22 である。そして、トランスポート層以下の通信プロトコルについては特段の制約を設けていないため、相互運用性を除く課題については、特段の記述がなされていない。

・ 需要地系統向けモバイルエージェント

需要地系統向けモバイルエージェントは、3.1.1 項で述べた需要地系統の監視制御システムに適用する目的で、当所が研究してきた技術である。モバイルエージェントとは、宛先の装置に移動し、そこで処理を実行するソフトウェアモジュールである。必要な時点で必要なモジュールが移動して処理を行うため、保守性の向上が期待できる。

本モバイルエージェントの概要を図 4-4 に示す。主な特徴は、エージェントや受信部 (エージェントが移動先で自律的に動作するまでの処理を担うソフトウェアモジュール) に優先処理を施している点と、UDP を利用しながら可用性を高める通信プロトコルを用意している点で

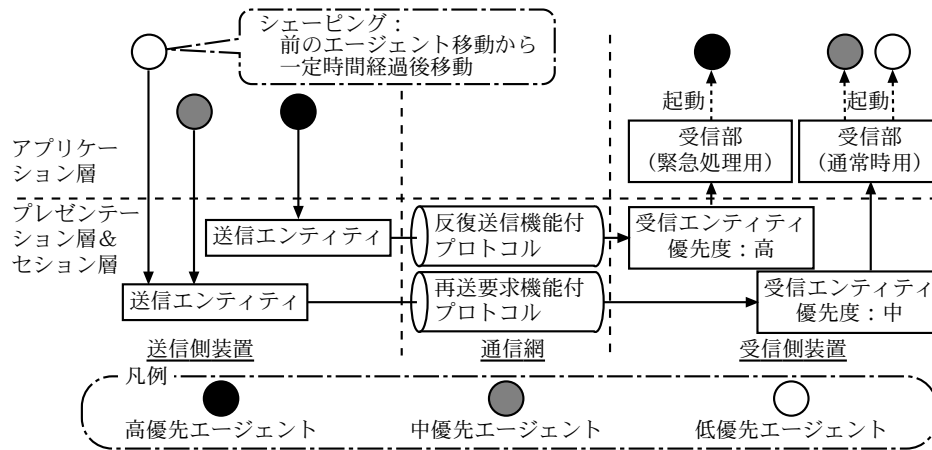


図 4-4 需要地系統向けモバイルエージェントの概要

表 4-8 需要地系セキュア通信ネットワークの課題に対するモバイルエージェントの技術

課題	需要地系統向けモバイルエージェントの技術
相互運用性・置換性の確保	特に規定せず。
保守性の確保	モバイルエージェントの利用によるモジュールの差し替え
可用性の確保	反復送信や再送要求などを用いた通信プロトコルの提供
適切なスループットの確保	エージェントレベル（端末レベル）では優先処理を実施。トランスポート層以下では特に規定せず。

ある。一方、IEC 61850 や IEC 62056 のように、データモデルは特に用意していない。

需要地系セキュア通信ネットワークにおける課題と需要地系統向けモバイルエージェントの関係については、表 4-8 に示すとおりである。このうち、保守性の確保については、モバイルエージェントの利用による効果が期待できるが、これをさらに高度化するためには、実際の監視制御機能を実現するオブジェクト（ソフトウェアモジュールの一つ）の定義をシステム動作中でも安全に差し替え可能にすることが考えられる。一方、相互運用性や置換性については特に配慮していないため、IEC 規格等を取り込んでいく等の対策が必要となる。

・通信プロトコルに関するまとめ

以上の検討より、通信プロトコルの課題として、下記が挙げられる

- ・既存プロトコルの適用性評価
- ・可用性確保のための通信網の障害時における迂回経路設定方式など

- ・アプリケーションの要求に応じた、適切なスループット確保技術（輻輳制御方式、優先処理、個別通信毎のスループット管理など）
- ・需要地セキュア通信ネットワーク構成の整理・確立

また、先行技術の調査結果から、単独の技術ですべての課題を解決することはできないことがわかった。このため、今後はより詳細な検討に基づき、もっとも適合性の高い既存技術をベースとして、他のプロトコルのメリットを組み合わせることや、既存技術では解決されていない課題を克服する技術の開発が必要となる。なお、今回調査した技術は、独自に定めている部分がトランスポート層より上位の通信プロトコルと対象領域に特有のデータに関するものであった。しかし、可用性や適切なスループットの確保については、トランスポート層（たとえば TCP や UDP）のエンティティにおいて、IETF の RFC で定められている仕様に反しない範囲で技術開発を行うことも必要となる可能性がある。

表 4-9 考慮が必要なセキュリティ要素

セキュリティ要素	内容
機密性 (confidentiality)	顧客固有の情報を扱うため、情報を秘匿する
完全性 (integrity)	扱う情報とその処理や制御が正確かつ完全に行われるようにする
可用性 (availability)	認可された制御者およびサービス事業者が、必要な時に制御や情報へのアクセスができるようにする
認証 (authentication)	供給事業者のサービスエリアが重なる可能性があり、需要家と各供給事業者を不正から守るため、需要家と供給事業者の両側で、正しい通信ネットワーク及び機器と通信しているか確認する
アクセス管理及び認可 (access control and authorization)	認可された制御のみ、需要家の設備を制御できるようにする
否認不能性 (non-repudiation)	ある取引が後で否定できないようにする

4.3 セキュリティ対策と課題

本節では、需要地系セキュア通信ネットワークの環境において考慮すべきセキュリティ要素およびこれを実現するための対策について述べる。検討例として3章で示した自営網、事業者網の使い分けのパターンに対するセキュリティの対策個所について述べる。また、需要家 GW に対するセキュリティ上の留意点について述べる。

4.3.1 考慮が必要なセキュリティ要素

機密性 (Confidentiality)、完全性 (Integrity)、可用性 (Availability) は一般に CIA と呼ばれる情報セキュリティの三要素であり、需要地系セキュア通信ネットワークでもこれらを考慮することが必要である。さらに、設備の制御や取引が行われることから、認証、アクセス管理及び認可、否認不能性も必要と考えられる[35]。考慮が必要なセキュリティ要素を表 4-9 に示した。

なお、アーキテクチャと求められる通信機能に変更があった場合には、求められるセキュリティ要素を見直す必要がある。

4.3.2 必要されるセキュリティ対策

ここでは、各アプリケーションの要件に応じて必要なセキュリティ対策とその個所について

述べる。なお、主に技術的な側面について検討しており、会社のポリシーやコストによってこれらは適宜修正する必要がある。

まず、末端に位置する機器は物理的アクセスに対して脆弱であると考えられることから、ファイアウォール (FW) のような通信ネットワークの境界防御のみでは不十分であり、機器自体のハード・ソフト改造や不正設定の検知・防止策が必要とされる。これに伴い、機器に対する遠隔設定およびアップデートを可能とする。その際には、正規の機器からの設定・アップデートであることを保証するため、機器間の暗号化認証、および通信にデジタル署名を付加する。認証を行うためには、認証用証明書の発行サーバが必要となる。

各負荷装置については、基本的に自由に接続可能である状態にあると考えられ、これらから需要家 GW に対する攻撃も想定する。このことから、新規接続機器に対するセキュアな認証用証明書発行手続きの確立などの、不正接続対策が必要である。

事業者通信ネットワークとの接続があり、事業者通信ネットワーク→需給 IF→運用管理メインシステムという通信経路が存在する場合には、需給 IF あるいは運用管理サブシステムへの入り口に FW が必要となる。

ここまでの対策は、アプリケーションによら

ず共通に必要なセキュリティ対策である。アプリケーションの要件によって特に必要な機能を以下に挙げる。

需給一体化運用・制御では、運用管理メインシステムとサブシステム、需給 IF 等の間で、制御指令の通信が行われる。制御指令が正規の端末から発せられたものであることを保証するため、機器間の暗号化認証が必要である。また、この間の通信ネットワークが信頼できないものであり、盗聴やパケット改変の可能性がある場合には、通信の暗号化も必要となる。他に、需給 IF から低圧系統管理システムには供給余力の情報が送られ、低圧系統管理システムから需給 IF には供給可能量や選択遮断の通知が送信される。これらについては否認不能性が要求されると考えられ、その場合には通信にデジタル署名を付加することが望ましい。

需要地系統の保全・保守では、主に機器状態情報が送信される。通信ネットワークが信用できない場合には、機器間の暗号化認証、通信の

暗号化、デジタル署名が必要である。

デマンドレスポンスでは、需要家の使用電力計測や料金メニューが通信される。正規の端末からの通信であることを保証するため、機器間の暗号化認証が必要である。また、使用電力量をプライバシーにかかわる情報として秘匿する場合、需要家による通信偽装を考慮する場合は、通信を暗号化する。使用電力量については、否認不能性も必要と考えられ、デジタル署名を利用する。デマンドレスポンスサービスプロバイダが電力会社と別に存在する場合には、需要家保護のための FW が必要となる。FW は、需給 IF 周辺が適すると考えられる。アップデートや設定を考慮すると、需給 IF に FW 機能を持たせることがより望ましい。電力会社にとっても、サービスプロバイダからの保護を考慮し、FW の設置が必要である。

スマートメータでは、負荷制御や料金信号の通信が行われる。正規の端末からの通信であることを保証するため、機器間の暗号化認証が必

表 4-10 アプリケーションに必要なセキュリティ対策

対象とするアプリケーション	脅威	セキュリティ対策	対策箇所
共通	機器自体のハードウェア改造	・物理的セキュリティ	末端の機器
	機器自体のソフトウェア改ざん	・機器間の暗号化認証 ・デジタル署名	末端の機器
	不正接続	・新規接続機器に対するセキュアな認証用証明書発行手続きの確立等	新規接続機器および新規機器の接続箇所
	なりすまし	・暗号化認証	通信を行う機器
需給一体化運用・制御	制御指令の改ざん	・暗号化認証	通信を行う機器
	盗聴・改ざん	・暗号化通信	通信を行う機器 あるいは通信ネットワーク
	操作の否認	・デジタル署名	通信を行う機器
保全・保守	盗聴・通信の偽装	・暗号化通信	通信を行う機器
	情報の改ざん	・デジタル署名	通信を行う機器
メータリング	情報漏洩	・暗号化通信	通信を行う機器 あるいは通信ネットワーク
	使用の否認	・デジタル署名	スマートメータ
デマンドレスポンス	盗聴・通信の偽装	・暗号化通信	通信を行う機器
	使用の否認	・デジタル署名	通信を行う機器
	不正接続	・ファイアウォール	通信インタフェース
その他サービス	情報漏洩	・暗号化通信	通信を行う機器 あるいは通信ネットワーク

する。配電系統運用保守箇所は事業者通信網にも接続されており、そこにもFWを設置する必要がある。

需要家では、需要家GW（需給IF／スマートメータ／HEMS制御装置）が、事業者通信網に接続された各種サービス事業者やユーザ自身の携帯端末と通信を行う。このため、需要家内の通信ネットワークから外部に接続する箇所にFWが必要となる。また、需要家における末端機器は、ユーザが自由に接続可能であり、物理的にもセキュアでないと考えられるため、この通信ネットワークからの攻撃に備え、需要家GWを保護するためのFWが必要となる。

・パターン2

パターン2の通信ネットワーク構成の場合を図4-6に示した。電力会社が自営通信網との間にFWを設置すること、配電系統運用保守箇所に二つのFWを設置することは、パターン1と同様である。需要家では、需要家GWが、事業者通信網に接続された各種サービス事業者やユーザ自身の携帯端末と通信を行う。このため、需要家内の通信ネットワークから外部に接続する箇所にFWが必要となる。需要家GWを末端機器から保護するためのFWも必要である。

・パターン3

パターン3の通信ネットワーク構成の場合を図4-7に示した。電力会社が自営通信網との間にFWを設置すること、配電系統運用保守箇所に二つのFWを設置することは、パターン1、2と同様である。需要家内の通信ネットワークから外部に接続する箇所と、需要家GWを末端機器から保護するためにFWを設置する。

4.3.4 需要家GWのセキュリティ対策

需要家GWは屋内外の接続点となり、セキュリティ上のポイントとなる。ここでは需要家GWのセキュリティ上の留意点について述べる。

ここでは需要家GWは電力会社が管理する

ものとする。これは、セキュリティ対策を行うにあたって必須と考えられる自営通信ネットワークIFを利用した遠隔からの設定・アップデートを可能にするためである。

需要家GWに対する脅威として、宅内機器側の宅内機器とのインタフェース経由の発電量・使用電力量の偽装が考えられるが、分電盤での測定により不整合が発見可能と考え、電力量計や分電盤からの入力情報は信頼し、サイバーセキュリティ対策の範囲外とした。ただしこの場合、各種情報を常時チェックする必要がある。

需要家GWは屋外に設置される可能性も十分に考えられることから、物理的セキュリティや、盗まれた場合の考慮が必要である。盗難対策としては、取り外しの検知、重要情報の暗号化、一定時間通信不能時のデータ消去等が考えられる。

盗まれた場合には、攻撃者に時間をかけて解析されるおそれがあるため、情報の暗号化が必要である。ただし、ハードウェアリソースの制限から、暗号化箇所を可能な限り最小限にすることが望ましい。個人情報等が含まれるデータベースについては、情報を暗号化する必要がある。また、アルゴリズム等の流出が問題となる場合は、対応するモジュールも暗号化する必要がある。これらの問題に対する対策としては、タンパープルーフ技術^vがあり、コスト等を勘案しながらこれらの技術の適用も検討する必要がある。

屋外に設置された場合、または各機能が物理的に分散したような実装となった場合、通信インタフェースでの物理的セキュリティや、不正接続防止が必要となる。最低限の通信のみを許可するFWの他に、プロトコル自体を固定的な

^v 機器などが不正にいじられることを防止する技術

表 4-11 需要家 GW に必要なセキュリティ対策と実装箇所

脅威	セキュリティ対策	実装箇所
盗難	・物理的セキュリティ ・取り外しの検知	・需要家 GW 本体 ・通信インタフェース ・回線
解析（盗難後）	・暗号化	・個人情報 ・重要なアルゴリズムを含むモジュール
不正接続	・最低限の通信を許可（FW 機能）	・外部との通信インタフェース
操作・使用の否認	・デジタル署名	・否認不能性を要求するアプリケーションモジュール
脆弱性の利用	・ソフトウェア自体のセキュアな実装	・各ソフトウェア

データ以外を許可しないものにするによるマルウェア侵入防止という方法も考えられる。ただし、固定的なデータのみを許可した場合には、機能面で制限される可能性もある。

否認不能性を要求するアプリケーションを搭載しているモジュールについては、デジタル署名が必要となる。ただし、通信先はサービス事業者（公衆通信ネットワーク）と電力会社（自営通信ネットワーク）のように複数箇所となる可能性が高く、それぞれに異なる署名が必要と考えられる。

また、マルウェアや脆弱性を利用した各種サイバー攻撃の対策として、需要家 GW のソフトウェア自体をセキュアなものにする必要がある。さらに、セキュアな遠隔設定やアップデートを行うためには、ほとんどの機能単位にデジタル署名を付けるか、遠隔設定・アップデート時の認証用に別モジュールを追加するといった工夫も必要である。

表 4-11 に、需要家 GW に必要なセキュリティ対策と実装箇所をまとめた。

4.3.5 セキュリティ対策における課題

セキュリティ対策の課題として以下がある。

・機器の紛失・盗難対策

需要地系セキュア通信ネットワークの一つの特徴である末端に位置する機器では、紛失や盗難による物理的な乗っ取りの対策が大きな課題である。物理的に機器を取得できた場合、解読

やリバースエンジニアリングを行うことが比較的容易となり、セキュリティを保つことが難しくなる。このため、タンパープルーフ技術を含め、十分な強度の暗号化や取り外しの検知、データの安全な消去などについて、実装可能な対策の検討が必要である。ただし、取り外しの検知やデータ消去については、計画外の停電時との切り分けが難しい点について考慮する必要がある。

・機器認証の方法

完全性や認証、アクセス管理等のセキュリティ確保のためには、機器認証が非常に大きな役割を占める。クローンの作成等による認証のすり抜けが可能になるとセキュリティが保てなくなるため、対策が必要である。

盗聴やなりすましの対策として通信の暗号化および暗号化認証を挙げたが、その際に使用する証明書や鍵を安全に配布する方法の確立が必要である。特に、改ざんの可能性がある機器に対しての再配布方法や、情報漏洩後の各機器への安全な配布方法等は課題である。

・設置環境やコストを考慮したセキュリティ技術の抽出

端末に各種対策を実装する場合に、屋外に設置することや、コストの問題等により、メモリや CPU 等のハードウェア処理能力について、制限がある可能性が高い。この場合、アプリケーションの要求仕様を満たさなくなるおそれがある。このことから、各種セキュリティ対策を

表 4-12 抽出された技術課題

項目	主な検討課題
物理ネットワークの構築	有線系： ・配電網のような多分岐ネットワークの設計手法 ・可用性向上のための故障箇所早期発見手法 無線系： ・端末設置時における通信品質の評価手法 ・低需要家密度の地域を対象としたマルチホップ伝送方式の適用性評価 共通： ・通信品質評価／耐性環境性評価／トータルコスト評価 など
通信プロトコルの共通化	・既存プロトコルの需要地系セキュア通信ネットワークへの適用性評価 ・可用性確保のための通信網の障害時における迂回経路設定方式など ・アプリケーションの要求に応じた、適切なスループット確保技術（輻輳制御方式、優先処理、個別通信毎のスループット管理など） ・需要地セキュア通信ネットワークのシステム構成の整理・確立
セキュリティ確保	・十分な強度の暗号化や取り外しの検知、データの安全な消去などの対策の適用性評価 ・機器認証の方法（証明書や鍵を安全に配布する方法など） ・設置環境やコストを考慮した、搭載すべきセキュリティ技術の抽出 ・無線回線に対する妨害の検知と対応

行うためにハードウェアにどの程度の処理能力が必要か、またコストを抑えるための最低限の対策の選別についても検討が必要である。

・無線回線に対するセキュリティ対策

他に、無線回線を使用する場合には、電波妨害や基地局・端末機器へのなりすまし等の可能性があり、その防御や検知と対応が課題である。

- ・自営通信ネットワークと事業者通信ネットワークの使い分け
- ・需要地 GW の機能・アーキテクチャの確立についての検討の必要性を述べた。

今後は、これらの技術課題について取り組み、需要地系セキュア通信ネットワークの構築法の確立を目指す。

5. まとめ

本報告書では、次世代の配電系統・需要家との通信・各種のサービスの提供の基盤となる需要地系セキュア通信ネットワークについて、

- ・収容対象とするアプリケーションの検討
- ・ネットワーク構築における課題の検討
- ・関連する技術の調査と課題の抽出

を行った結果について述べた。

このうち、技術課題として、

- ・有線・無線技術を活用した物理ネットワークの構築法
- ・需要地系セキュア通信ネットワークのためのプロトコル
- ・セキュリティの確保

を挙げ関連する現状技術と課題を表 4-12 に示すように抽出した。

また、この他の課題として、

参考文献

[1] 栗原、「低炭素電化社会を支える電力供給・利用インフラ 次世代グリッド:TIPS-」、平成 21 年度電気学会全国大会、S13-5、2009 年 3 月

[2] “GridWise Alliance”, <http://www.gridwise.org/index.html> (2008.07.10)

[3] “SmartGrids: European Technology Platform”, <http://www.smartgrids.eu/> (2008.07.10)

[4] 小林広武、「太陽光発電大量導入に対応する需給一体形運用制御技術の開発」、電力中央研究所平成 20 年度研究成果発表会「最適エネルギー利用技術-脱炭素化社会に向けて-」予稿集、2008 年 10 月

[5] 小林広武ほか：「需要地系統の運用制御技術の開発」、電力中央研究所報告 R08 (2008)

[6] 上村敏・松田勝弘：「需要地系統の運用管理

- 手法の提案 —最適制御量決定プログラムの開発—、電力中央研究所報告 T01059 (2002)
- [7] 浅利真宏・滝川清：「需給インターフェースシステム（その1）—需給インターフェースによる低圧系統運用管理手法の開発—、電力中央研究所報告 T02045 (2003)
- [8] 浅利真宏：「需給インターフェースによる低圧系統アンシラリーサービス技術の実証—電圧上昇抑制制御と系統事故時の停電回避—、電力中央研究所報告 R04021 (2005)
- [9] 小林広武：「需要地系統の保護制御システムの開発—事故区間の高速分離と単独運転防止手法の実証評価—、電力中央研究所報告 R04026 (2005)
- [10] 浅利真宏：「低圧系統需給インターフェースの開発—選択負荷遮断機能と低圧系統独立運転機能の開発—、電力中央研究所報告 R05029 (2006)
- [11] 配電業務への IT 適用調査専門委員会編：「配電業務における IT の適用状況と今後の展望」、電気学会技術報告第 1076 号 (2006)
- [12] 鈴木浩：「スマートメータを用いた電力流通インフラの海外動向」、電学論 B、127、9、pp.977-980 (2007)
- [13] NYISO: Products -Demand Response -Day-Ahead”, http://www.nyiso.com/public/products/demand_response/day_ahead.jsp
- [14] 総務省、「平成 17 年通信利用動向調査の結果」、2005 年
- [15] 日本工業標準調査会：「情報処理用語—基本用語」、JIS X 0001 (1994)
- [16] 日本工業標準調査会：「ソフトウェア製品の品質—第 1 部：品質モデル」、JIS X 0129-1 (2003)
- [17] 日本工業標準調査会：「情報処理用語—信頼性、保守性及び可用性」、JIS X 0014 (1999)
- [18] 独立行政法人情報処理推進機構 IT スキル標準センター プロフェッショナルコミュニティ IT アーキテクト委員会：「参照アーキテクチャ調査報告」(2005)
www.ipa.go.jp/jinzai/itss/activity/ITA/2004/RA.pdf
- [19] 内山悟志・富永裕子：「IT アーキテクチャの真の効用を探る—ビジネスと IT の最適化を支援する体系的手法を以下に導入するか」、CIO Magazine 2005 年 4 月号 (2005)
<http://www.ciojp.com/contents/?id=00002158;t=0>
- [20] 長井浩・西原裕善・大津留史郎・吉田幸彦・大嶽隆児：「匠 目指せ、IT アーキテクト講座 第 3 回 IT アーキテクチャの設計技報」、IBM
<https://www-304.ibm.com/jct03004c/easyaccess/jpgsind/contenttemplate/!!/xmlid=126085>
- [21] IEC: “Communication networks and systems in substations – Part 7-4: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Compatible logical node classes and data classes,” IEC 61850-7-4 (2003)
- [22] IEC: “Communication networks and systems in substations – Part 7-2: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Abstract communication service interface (ACSI),” IEC 61850-7-2 (2003)
- [23] IEC: “Communication networks and systems in substations – Part 7-3: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Common data classes,” IEC 61850-7-3 (2003)
- [24] IEC: “Communication networks and systems in substations – Part 1: Introduction and overview,” IEC TR 61850-1 (2003)
- [25] IEC: “Communication networks and systems in substations – Part 8-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Mappings to MMS (ISO 956-1 and ISO 9506-2) and to

ISO/IEC 8802-3,” IEC 61850-8-1 (2004)

Electric Power Research Institute, Dec 2005.

- [26] 日本工業標準調査会：「工業自動化システム—製造メッセージ仕様—プロトコル仕様」、JIS B3601 (2004)
- [27] IEC: “Communication networks and systems in substations – Part 1: Introduction and overview,” IEC TR 61850-1 (2003)
- [28] IEC: “Communication networks and systems in substation – Part 4: System and project management,” IEC 61850-4 (2002) IEC: “Communication networks and systems in substation – Part 4: System and project management,” IEC 61850-4 (2002)
- [29] IEC: “Communication networks and systems in substation – Part 5: Communication requirements for functions and device models,” IEC 61850-5 (2003)
- [30] IEC: “Electricity metering – Data exchange for meter reading, tariff and load control – Part 62: Interface classes,” IEC 62056-62 (2006)
- [31] IEC: “Electricity metering – Data exchange for meter reading, tariff and load control – Part 53: COSEM application layer,” IEC 62056-53 (2006)
- [32] IEC: “Electricity metering – Data exchange for meter reading, tariff and load control – Part 47: COSEM transport layers for IPv4 networks,” IEC 62056-47 (2006)
- [33] A. F. Snyder and M. T. G. Stuber: “The ANSI C12 protocol suite – updated and now with network capabilities,” IEEE Power Systems Conference 2007, Clemson, SC, USA (2007)
- [34] OpenAMI: “ANSI C12.22 protocol specification for interfacing to data communication networks – up-date on draft specification,” (2006)
- [35] Electric Power Research Institute (EPRI), “IntelliGrid Consumer Portal Telecommunications Assessment and Specification”, 1012826,

付録 A 需要地系統、需給一体化制御、 保全・保守業務の概要

A-1 需要地系統

需要地系統は、以下のニーズに対応することを目標としている。

- (1) コスト抑制のため、既存設備を有効に活用しながら、シンプルな構成で、種々の分散形電源の導入・運用形態や需要形態に地域的・時間的に柔軟に対応する。
- (2) 個別機器の制御や需要家の参加を含めた新サービスの提供について、ハードウェア・ソフトウェアの両面から柔軟に対応する。
- (3) 分散形電源出力の大きな変動といった好ましくない影響を基幹系統に及ぼすことなく、全系の効率的運用に積極的に貢献する。

これらのニーズを満たすため、需要地系統は付図 A-1 に示すような構成をとる。(1)に示したニーズについては、現在樹枝状構成となっている配電線の、ループコントローラ (LPC: Loop Power Controller) によるループ化・広域化によって対応する。LPC では、潮流や無効電力の制御により電圧を適正化する[1]とともに

に、地絡事故発生時に健全区間の運転を継続させる[2]。

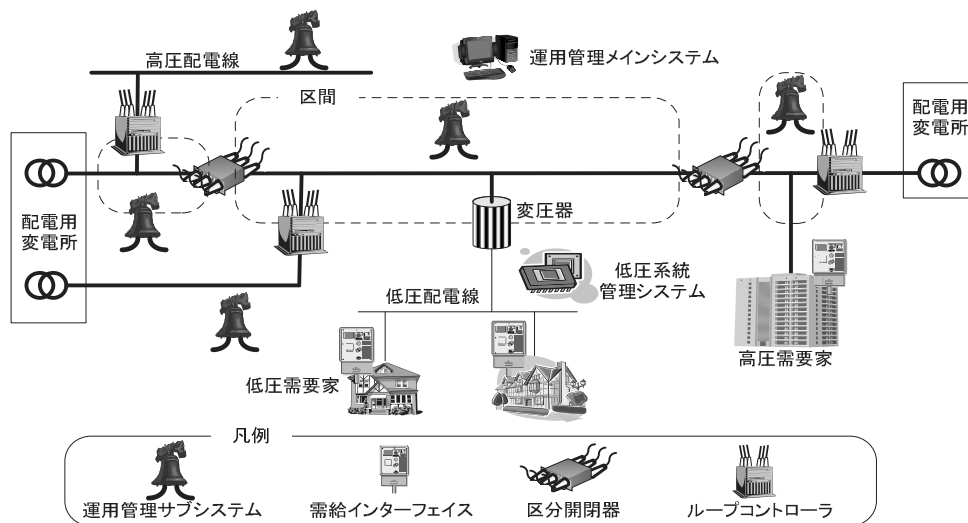
(2)及び(3)のニーズについては、運用管理システムにて対応する。運用管理システムでは、平常時における系統機器の最適制御量決定や低圧系統の電圧管理、地絡発生時における事故区間分離や低圧系統における停電回避などを行う。

運用管理システムを構成する各装置（本文表 2-1 参照）間は、低コストで高速通信を実現するため、イーサネットスイッチ及びイーサネット PON (Passive Optical Network) による接続を提案している[3]。また、システム構成や機能の変化に対する監視制御システム自身の柔軟性確保や、様々な監視制御機能を統合して扱うために、モバイルエージェントの利用を提案している[4,5]。

この他、区分開閉器や LPC にも、監視制御用の装置が設置される。これらは、機器単体の監視制御を行うと共に、監視データなどを運用管理サブシステムに提供する役割を担う。

A-2 需給一体化運用・制御

さらに、需要地系統をベースとして、分散形電源の発電容量が配電線の容量と同量になっ



付図 A-1 需要地系統の構成イメージ

付表 A-2 点検・調査業務の内容

項目	内容
巡視	施設の劣化、他の工作物や樹木の接近などを目視などで調査する。
点検	巡視では判断できない、電気工作物の機能の良否を、目視や点検装置などで調査する。
竣工調査	電気設備の新增設時に、お客さま設備が、技術基準※に適合しているかどうかを調査する。
定期調査	4年に1回以上の頻度で、お客さま設備が、技術基準※に適合しているかどうかを調査する

(「配電業務における IT の適用状況と今後の展望」 p.5 表 2.3.1 より引用)

付表 A-3 故障・お客さま対応業務の内容

項目	内容
故障対応 (現地対応)	故障停電時に指令からの指示に基づく開閉器操作、故障箇所の探査、故障原因の除去などを実施。
お客さま対応 (停電対応)	お客さまからの申し出による変圧器以下の停電に対応し、現地で原因を調査して特定するとともに、その除去及び修理を行う。(主な原因として、過負荷によるヒューズ切れ、契約ブレーカ動作や漏電による漏電遮断器動作などが挙げられる。)
お客さま対応 (停電以外)	お客さまからの申し出による停電以外の対応であり、車両衝突処理、火災処理、電圧に関する申し出、配電設備に関する申し出などがある。

(「配電業務における IT の適用状況と今後の展望」 p.5 表 2.3.2 より引用)

た場合の機能として、配電線への逆潮流の増大に伴う線路損失増大や保護協調面での上位系への影響、系統大の安定性への影響をそれぞれ回避すべく、需給一体化運用・制御の研究に取り組んでいる。需給一体化運用制御では、いくつかの機能が追加される。LPC など系統を構成する各種装置の構成については、大きな変更はない。一方、運用管理システムなど通信がかかわる部分については、今後の研究成果に基づき、進化する可能性を残している。

需給一体化運用・制御において注目すべき点は、負荷機器を制御対象として重視している点である。需要地系統では、事故時に系統側か

ら分散形電源を解列する制御を行うが、それ以外は機器の監視にとどまっていた。これに対して、需給一体化運用制御では、配電用変圧器における潮流平準化を目的とした負荷制御や、分散形電源一斉脱落時における電圧・周波数維持を目的とした負荷制御等が追加される。

なお、負荷制御を実施する監視制御システムの構成が定まっている訳ではない。すなわち、需要地系セキュア通信ネットワークにおける研究成果に基づき、適切なシステム構成を選択することになる。その一例として、HEMS (ホームエネルギー管理システム) に対して、発電可能量や負荷動作による消費電力を指示することにより、実際の機器制御は HEMS が行う形態も考えられる。

A-3 保全・保守業務の概要

保守、保全業務のうち、点検・調査業務における主な業務内容を付表 A-2 に、故障・お客様対応業務の主な業務内容を付表 A-3 に示す。

参考文献

- [1] 岡田有功：「需要地系統におけるループコントローラの開発 —制御方式の提案と実験装置の試作—」、電力中央研究所報告 T99075 (2000)
- [2] 岡田有功・小林広武・石川忠夫・滝川清：「需要地系統におけるループコントローラの開発 —地絡故障に対する分散電源の運転継続方式の提案—」、電力中央研究所報告 T02046 (2003)
- [3] 幸田賀之・大谷哲夫：「需要地系統用通信ネットワーク構成方式の提案」、電力中央研究所報告 R04023 (2005)
- [4] 三沢雅一・大谷哲夫：「次世代監視制御用通

信網の構成法 —需要地系統運用制御網へのアクティブネットワーク技術の適用—、
電力中央研究所報告 R00012 (2001)

- [5] 大谷哲夫・幸田賀之・小林広武：「モバイルエージェントとイーサネットに基づく需要地系統運用管理システム —実験系統を用いた処理時間の評価と実系統への適用に関する考察—」、電力中央研究所報告 R04004 (2005)

付録 B 需要地セキュリティネットワークへの適用候補となる有線・無線伝送技術の特徴

付表 B-1 需要地セキュリティネットワークへの適用候補となる有線・無線伝送技術とその特徴

	低コスト性			高信頼性		高速・大容量性		保守保全の 容易性	構成変化に 対する柔軟性	現状の使われ方
	通信距離	多元接続性	設置の容易さ	遅延・揺らぎ	可用性への 脅威	伝送特性の 安定性	通信速度			
有線系	FTTx	PONで20km、 SSで40km程度	PONで最大 32.64程度	設置の容易さは高コスト 新規敷設は高コスト	少ない	伝送路の 切断	～10Gbps	リング構成可 故障伝送路は 張替	敷設後の変更 は困難	家庭やビルなどへのインターネ ット用途など
	xDSL	ADSLで5km、 VDSLで数100m 程度	既設設備多い	少ない	伝送路の 切断	通信速度が距離に 依存	ADSL: ～50Mbps(下り)、 ～5Mbps(上り) VDSL: ～100Mbps(上下)	故障伝送路は 張替	敷設後の変更 は困難	ADSL:インターネットアクセス 回線(電話局と各家庭) VDSL:集合住宅における MDF～各家庭
	屋外 PLC	～200m	比較的容易	少ない	伝送路の 切断	不安定な状況あり	210Mbps	故障伝送路は 張替		家電機器制御等
	光電波 融合	～40km(光アンプなし) 長距離の場合は 無線機のタイムアウト に注意	使用する無線通 信方式に依存 は高コスト	長距離の新規敷設 は高コスト	無線通信方式に 依存する揺らぎ は少ない	ファイバ伝送路部 分の特性は安定	使用する無線通信方 式に依存 ファイバ伝送路は Gbps も可	故障伝送路は 張替	敷設後の変更 は困難	トンネル内、地下街等の不感 地帯への電波の「トンネル」 交通情報、携帯電話、ワセ リ等での利用あり
無線系	光無線	見通し数 km 程度	不可能	見通しが得られれば 容易	少ない	見通し 部分の遮蔽	～10Gbps	通信機器の 取替	対向する通信 機器の変更	ビル間通信など
	携帯電 話	～5km/cell	3G: CDMA 3.9G, 4G: OFDMA/SDMA	通信キャリアの設備 利用で容易 新規敷設は高コスト	8G: 数 10msec 3.9G: 制御遅延 50msec 伝送遅延 < 5msec	ジャミング	3G: ～2Mbps 3.5G: ～14.4Mbps 3.9G: > 100Mbps 4G: > 1Gbps	通信機器の 取替		通話・データ通信(屋内外)
	無線 LAN	11g: ～150m(屋外) 11n: ～250m(屋外)	CSMA-CA	設備設置は容易 エリア設計が困難	ジャミング	環境によって電波 状況が大きく変化	11b: ～11Mbps 11a/g: ～54Mbps 11n: ～600Mbps	通信機器の 取替		構内アクセス系 公衆無線 LAN サービス
	FWA	P-P: < 4km P-MP: < 1km	最大接続数 239	比較的容易	ジャミング	環境によって電波 状況が大きく変化	P-P: 22G/26G/38GHz ～156Mbps P-MP: 26G/38G 80Mbps	通信機器の 取替	対向する通信 機器の変更	インターネット 離島等へのアクセス回線
特定 小電力 無線	～数 100m	比較的容易	比較的容易	ジャミング	環境によって電波 状況が大きく変化		通信機器の 取替		比較的距離での対向通 信 トランシーバ等	

R **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It features a large, bold, serif capital letter 'R' on the left. To the right of the 'R' is the word 'CRIEPI' in a smaller, bold, sans-serif font. Two thick, curved lines, resembling a stylized 'S' or a swoosh, are positioned above and below the text, starting from the right side of the 'R' and extending to the right.

電力中央研究所報告

[不許複製]

編集・発行人 財団法人 電力中央研究所
システム技術研究所
東京都狛江市岩戸北 2-11-1
電話 03 (3480) 2111 (代)
e-mail serl-rr-ml@criepi.denken.or.jp



発行所 財団法人 電力中央研究所
東京都千代田区大手町 1-6-1
電話 03 (3201) 6601 (代)

印刷所 株式会社 ユウワビジネス
東京都千代田区神田須田町 1-1
電話 03 (3258) 9380

ISBN978-4-7983-0121-1

