電力系統監視・制御用コンピュータの ネットワーク通信規約の開発

正員 太田 宏 次 (中部電力)

正員 城 後 譲 (中部電力)

正員 高 橋 敏 (中部電力)

正員 常 泉 哲 男 (中部電力)

正員 須 田 京 真 (日立製作所)

正員 久 保 喜 義 (東 芝)

正員 川 本 克 行 (三菱電機)

正員 宮 村 尚 孝 (富士電機)

Development of a Computer Network Protocol for SCADA Systems

Hiroji Ohta, Member, Yuzuru Johgo, Member, Satoshi Takahashi, Member(Chubu Electric Power Company),

Tetsuo Tsuneizumi, Member(Chubu Electric Power Company), Kyoma Suda, Member(Hitachi, Ltd),

Kiyoshi Kubo, Member(Toshiba Corporation), Katsuyuki Kawamoto, Member(Mitsubishi Electric Corporation),

Naotaka Miyamura, Member(Fuji Electric Company, Ltd)

Power systems comprising an enormous number of components are monitored and controlled by SCADA systems. For efficient monitoring and control of organically linked power systems, it is necessary to connect the related SCADA systems through a communications network and to exchange needed information.

The RCN (Realtime Computer Network) protocol serves as a foundation in building a communications network for SCADA systems. The RCN protocol complies with OSI (Open Systems Interconnection), the international standard for communications protocols, and with the API/F (Application Interface) communications protocols, which covers provisions exclusively required for communication among SCADA systems. The RCN protocol supports both an inter-process information communication function and a file transfer function, and it can be extensively applied to control systems other than SCADA systems.

This paper presents a detailed explanation of the RCN protocol and the performance of the RCN protocol.

キーワード：O S I，ネットワーク，電力系統監視・制御システム，プロトコル，リアルタイム処理

1. まえがき

電力系統は、発電機、送電線、変圧器、各種開閉器などの主回路設備や、これらの保護・制御装置等の膨大な設備によって構成されている。特に、電力輸送設備は、電力の生産拠点から消費地までの間、超々高圧系統から配電系統に至るまで階層的に、かつ供給地域に面的な広がりをもって構築されている。これら電力系統の監視・制御業務は、計算機利用技術の進展および監視・制御対象の増加、系統運用条件の複雑化等に伴って、現在ではその大半が計算機システムを駆使することによって行われている。

電力系統の監視・制御業務を行うシステムとしては、火力・原子力プラント制御システム、中央給電所システム、基幹系統給電制御所システム、地方給電制御所システム、配電自動化システム等が挙げられるが、これらのシステム（以下、本論文において、単にシステムと記述した場合には上記電力系統監視・制御システムを指すものとする）は計算機および運転員の業務処理能力上の適性規模を勘案し、

業務目的別に、電力系統を階層的・地域的に分割して設置されているものである。（図1）本論文では、こうした分割範囲をシステム管轄範囲と呼ぶものとする。

図1 電力系統とシステム管轄エリア
Fig. 1. Power System and System Coverage.

一方、電力系統の一貫運用という別な観点からみると、電力系統は有機的結合の中で互に関連・影響し合っ動作しているのに対し、各監視・制御システムが扱う系統運用業務は上記システム管轄の系統範囲に限定されている。これらのギャップを埋めるために従来から行われてきた方法は、隣接しあう給電制御所間での電話やFAX利用による情報連絡であった。近年では、各システム間を通信回線にて結合し、これらの情報を自動伝送する例⁽¹⁾が増えつつある。

中部電力においても、主として情報の効率的活用、システム全体の経済設計、業務の高度化・省力化等の観点から、地方給電制御所システムと配電自動化システム、ダム管理所システムとの結合を行ってきた。このような状況下において、これまで多くの場合上記のシステム間結合は、異なる計算機メーカによって提供される様々な型式のコンピュータ間の結合（異メーカ異機種間結合）を形成していた。

従来、こうした異メーカ異機種間結合を実現する場合に採られてきた手法は、以下のようなものである。

(a) 各メーカが共通的にサポートするHDL C (High level Data Link Control procedure), B S C (Binary Synchronous Communications)等の後述するO S I第2層（データリンク層）に相当する比較的簡易な通信規約で統一する。システム管轄範囲を越えて相互接続しようとする双方のシステムに、共通的な通信規約が存在しない場合には、いずれかのシステムが相手システムの通信規約に合わせるための通信規約変換機能を開発する。

(b) ルーティングや情報の誤り回復に相当する機能は、対向するシステム毎に独自仕様を決定し、全てアプリケーションソフトウェアにより実現する。

(c) 通信路の障害を検出し、それを通知する方法や、障害復帰時の回復処理等、伝送系監視の仕様についても上記(b)項と同様の方法で実現する。

上記のような対応をとった結果、現在までに以下のような問題が発生している。

ア. システム単位に使用する通信規約が異なるため、相手システム毎に幾種類もの通信規約を使い分けなければならない

イ. 通信規約の統一、通信規約変換機能の開発、および上記(b)項と(c)項に示す独自機能や伝送系監視機能の開発に、相当な期間および費用を要し、後のメンテナンス体制等にも支障が大きい

ウ. 上記(a)項で示した簡易な通信規約では、通信媒体としてパケット交換網を使用することができない

エ. コンピュータネットワーク（以下、本論文では単にネットワークと称す）の構築は局部的なものに限られ、統一的かつ大規模なネットワーク構築は困難である

筆者らは、上記ア項～エ項に示した問題を内在させながら、今後とも高まるシステム間結合ニーズにその都度対応し、ネットワークを拡大・大規模化していくことは困難と判断し、これらの問題を根本的に解決するための通信規約

統一の検討を進めてきた。⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

この結果として、リアルタイム計算機相互接続用通信規約（Realtime Computer Network用通信規約、以下RCN通信規約あるいは本通信規約と称す）を開発し、これを中部電力の電力系統監視・制御システム間結合に適用した。

本論文の前半では、今回実用化したRCN通信規約の詳細について述べる。

また、通信規約の性能評価に関してはこれまでさまざまな報告がなされているが⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾、いずれも対象とする通信プロトコルをモデル化して行った理論的なものである。これに対し本論文の後半では、本通信規約の性能評価を、一般的な運用環境下における通信規約製品の性能評価といった観点からとらえ、実運用レベルでの性能評価試験結果を示している。

2. 制御用通信規約が具備すべき機能と性能

2.1 制御用通信規約が対象とする情報

各種の電力設備によって構成される電力系統では、監視・保護・制御・調整業務等さまざまな業務分野で、それぞれ性格の異なる情報が取り扱われている。それらの情報は、情報伝送の観点から以下の3種類に大別される。

ア. 電力系統内の故障区間を瞬時に切り放すための保護装置間の情報のように、情報量は比較的少ないが伝送遅延時間に厳しいもの

イ. 動画情報のように、情報量も多く伝送遅延時間も比較的厳しいもの

ウ. 電力系統監視・制御システムが取り扱う監視・制御情報や記録情報のように、比較的情報量も少なく伝送遅延時間も秒オーダーであるもの

TC: Tele-Controller 遠隔監視制御装置
CDT: Cyclic Digital Information Transmitter サイクリック型データ伝送装置
SSC: System Stability Controller 系統安定化装置
LSC: Local Stability Controller 局部系統安定化装置
TSC: Transient Stability Controller 過渡安定化装置
D-Cr: Directional comparison Carrier relay 方向比較方式送電線装置
PCM-Cr: Pulse Code Modulation Carrier relay パルス符号変調方式送電線装置

図2 電力用情報の分類とRCN通信規約が取扱う範囲
Fig. 2. Classification of Power Information and the Scope of the RCN Protocol.

上記3種類の情報は、必然的に、その用途に対応して情報の重要度・情報量・許容伝送遅延時間等のニーズが異なってくる。一種類の伝送方式で全てのニーズに対応することは困難であるため、それぞれの目的に応じた伝送方式が必要となる。

R C N通信規約は、電力系統監視・制御システム間の結合を目的としているため、上記ウ項の情報を対象として開発した。(図2)

<2>2 通信規約標準化にあたっての条件

通信規約の標準化作業を行うにあたっては、運用側のニーズ、およびその使用環境を明確にしておく必要がある。R C N通信規約の許容伝送遅延時間は秒オーダーであるというものの、伝送される情報はリアルタイムで処理される電力系統の監視・制御業務に使用されることから、通信に係わるオーバーヘッドの軽減、信頼度確保等にも特別な配慮が必要とされる。R C N通信規約の策定に先だって、本通信規約をニーズに対応したシンプルかつ高信頼度の規約とするため、最低限実現すべき機能・性能の要求事項として以下の3項目を明確化した。

(1) データ量と伝送遅延時間

電力系統監視・制御システムの取り扱う情報を、データ量と許容される伝送遅延時間の関係から、以下の2種類に大別し取扱うこととした。

ア. プロセス間通信

イ. ファイル転送

前者は本通信規約に従って相互接続されるプロセスとプロセスの間で、リアルタイムにデータの送受信を行なう通信形態である。また後者は、システム内の記憶媒体にファイルの形で蓄積されたデータを転送する形態である。この分類結果を表1に示す。

表1 データ量と許容伝送遅延時間
Table 1. Data Quantity and Allowable Transmission Delay Time.

分類	データ量	許容伝送遅延時間	対象データ
プロセス情報	数10byte～ 数k byte	数秒以内	監視制御情報 ・ TC, CDT情報 ・ 故障通報情報等
ファイル情報	数k byte～ 数100k byte	数10秒～ 数分	記録情報 ・ 日報 ・ 月報等

(2) 通信媒体

電力系統監視・制御用のネットワーク形成を念頭において、電力保安通信網としての整備状況を考慮する必要

表2 通信媒体の選定
Table 2. Selection of Communications Media.

通信媒体	中部電力での導入状況	R C N通信規約での対応
専用線	済	対応する
パケット交換網	済	対応する
事業所LAN	一部導入開始	当面対応しない
高速パケット交換網	将来検討	将来検討
I S D N	将来検討	将来検討

がある。電力供給範囲内に分散しているシステム相互を接続するため、R C N通信規約が対象とする通信媒体は、電力会社の私設通信網としても一般的な専用線、およびパケット交換網とした。(表2)

(3) 通信規約搭載にあたっての考慮事項

電力系統監視・制御システムを、相互接続といった観点から考察すると、以下の特徴が挙げられる。

ア. 電力系統監視・制御システムは、複合系計算機系列(A系, B系)により構成される

イ. データ通信に関連する各プロセスは分散環境下にある
ウ. 複合系を構成する各計算機系列は運用モード(運転, 待機, 試験, シミュレーション等)を保有する

一般に通信規約は計算機単体どうしの相互接続を基本として策定されるが、このような通信規約を電力系統監視・制御システム相互を接続する目的で使用するためには、上記特徴を予め認識し対応策をとっておく必要がある。これらの対応についての基本方針は、次の3章で述べる。

3. R C N通信規約策定方針

<3>1> R C N通信規約搭載システムの構成

電力系統監視・制御システムをネットワークを介して相互接続するにあたって、電力系統監視・制御システムが保有する特有な機能、システム構成の差異を吸収し、個々のシステムからみて相互接続される全てのシステムが等しく同様にできるようにするため、前章(3)のア項～ウ項の3点についてシステム構成で吸収する項目と通信規約部分で対応する項目について明確化した。すなわち、電力系統監視・制御システムにR C N通信規約を搭載する際には、通信サーバを2系列設置することによって上記ア項およびイ項を吸収し、ウ項については同通信サーバに搭載するR C N通信規約側で対応することとした。この概念図を図3に示す。

図3 電力系統監視・制御システムと通信サーバ
Fig. 3. SCADA Systems and Communications Server.

〈3・2〉 ベースとなる通信規約の選定

ベースとなる通信規約の採用方針の決定にあたっては、以下の3種類の方法が検討された。

- (a) 国際標準通信規約であるOSI (Open Systems Interconnection)を採用する。
- (b) 業界標準通信規約 (全銀協手順, TCP/IP等)を採用する。
- (c) 独自の通信規約を新規開発する。

この中で、OSIは以下の特徴を有している

- ア. 国際規格として標準化が推進されている
 - イ. 基本参照モデルに従った体系的な規約である
 - ウ. 拡張性および柔軟性に優れている
 - エ. 広範な業務、多様な通信媒体への適用が可能である
- 上記特徴およびトータルコスト、策定に要する時間、将来的な普及率、技術的方向性などの考察から、RCN通信規約のベース部分はOSIに基づいて規定するものとした。

〈3・3〉 API/F通信規約の規定

RCN通信規約の策定にあたっての基本方針は以下にっている。

(a) OSI通信規約部分にOSIで規定外の機能を付加することはOSIからの逸脱を伴い、将来的観点からも得策ではない。このため、以下〈4・1〉節で示すようにOSI規定部分は必要機能を選択するのみでOSI完全準拠を図る。

(b) OSIでは規定されていない機能、電力系統監視・制御システムの運用形態からは是非とも具備すべき通信機能は別途独自に規定する。

アプリケーションインタフェース (Application interface, 以下、API/Fと称す) 通信規約は、上記(b)項の基本方針に基づき今回独自に規定した通信規約であり、以下に示す3つの機能的な位置付けをもつ。

- ア. プロセス間情報伝送およびファイル転送に係わる諸手続きを円滑に遂行する
- イ. OSI通信規約部分と一般業務プロセスとのインタフェースをとる
- ウ. 〈2・2〉節(3)ウ項の要件も含め、電力系統監視・制御システムが保有する特異性を本規約部分で吸収し、外部に対して隠蔽する

4. RCN通信規約の概要

〈4・1〉 OSI通信規約部分の概要

(1) OSI規約部分の実装モデル

〈2・2〉節(1)～(3)において明確化したニーズに基づき、OSI通信規約部分にて実現すべき機能をINTAP (Interoperability Technology Association for Information Processing, Japan (財) 情報処理相互運用技術協会) 実装規約より切り出し作業を行った。その結果、OSI規約部分の実装モデルは図4のようになった。

以下(2)および(3)において、RCN通信規約におけるOSI通信規約部分の特徴を上位3層と下位4層に大

別して解説する。

図4 RCN通信規約のOSI部分の実装規約モデル
Fig. 4. RCN Protocol Model.

(2) 上位3層 (アプリケーション層、プレゼンテーション層、セッション層)

OSI標準モデルに従う上位3層は、実装規約の上位に位置する一般業務処理、あるいはアプリケーション層の機能採択に依存して、各層の基本機能の採択方針が定まる。RCN通信規約では、表1で示した性格の異なる2つの情報を取り扱うことから、上位3層の機能採択はこの異なる2つの情報伝送に求められる機能、性能に従って行われた。

(a) プロセス間通信用通信規約

ア. アプリケーション層、プレゼンテーション層

OSIのアプリケーション層ではファイル転送やメール通信処理等の汎用的な業務に使用するプロトコルが、またプレゼンテーション層では情報伝送に際して、当該転送情報の表現形式を定義するプロトコルが規定されている。

プロセス間情報伝送では、OSIのアプリケーション層のプロトコルが提供する機能は必ずしも必要としない。また電力系統制御用計算機が取り扱うプロセス情報のフォーマットおよび表現形式については、対応する一般業務処理であらかじめ合意された形式を前提として取り扱うほうが処理速度の点で有利である。

上記理由より、プロセス間通信用通信規約ではプレゼンテーション層以上の機能を使用しないこととした。

イ. セッション層

高速小容量のデータ転送を行うプロセス間通信に要求されるリアルタイム性を重視するならば、転送制御機能 (優先データ転送, 同期等) を提供するこの層の機能は、不要とする考え方も成り立つ。しかし、一般業務処理が伝送路の品質の違いやサービスの違いを意識する必要がない、将来の機能拡張時の対応の容易さ等の理由から、プロセス間通信用通信規約でもこの層を実装することとした。

ただしセッション層では、必要最小限の機能採択という趣旨から、基本機能である「カネル」と、双方向通信に必要な「全二重機能」のみを採択した。

(b) ファイル転送用通信規約

ア. アプリケーション層、プレゼンテーション層

ファイル転送において現在必要とされている機能は、日報や月報等のファイル全体を一括して転送する機能である。このため、OSIのアプリケーション層では、FTAMプロファイルのうち「AP. 111」、および共通サービス機能の「ACSE」を採択した。

プレゼンテーション層では、アプリケーション層と下位層とのインタフェースをとる意味から、必要最小限の「カーネル」のみを採択した。

イ. セッション層

プロセス情報伝送にてセッション層を設けたことにより、ファイル転送もこれを共用することとした。

(3) 下位4層（トランスポート層、ネットワーク層、データリンク層、物理層）

OSI標準モデルに従う下位4層は、上位層の実装状況によらず、使用する通信網の種類によってのみ各層の機能採択が定まる。このため、下位4層の機能採択は、RCN網として採用する電力保安通信網の状況を考慮して行なった。

ア. トランスポート層

一般的に電力保安通信網の信頼度は充分高いことから、データ化けや障害検出およびその回復機能等の余分な機能を割愛し、最も基本的な「クラス0」と多重化機能を持つ「クラス2」を採用した。

イ. ネットワーク層、データリンク層、物理層

RCNの通信媒体として選定した専用線の通信規約である「TF. 41」のプロファイル、およびパケット交換網の標準通信規約である「TF. 11」のプロファイルを採用した。

以上から、OSI通信規約部分の上位3層、および下位4層の実装規約の特徴は、以下の3点となる。

(a) 高速性が求められるプロセス間通信アプリケーションは、上位3層のうちセッション層に直接インタフェースする。

(b) それほど高速性を要求されないファイル転送アプリケーションは、OSIアプリケーション層のファイル転送機能(FTAM)にインタフェースする。

(c) 下位4層の実装規約は、RCN通信媒体として選定された通信網に対応する規約のみが選定されている。

<4.2> API/F通信規約の概要

API/F通信規約モデルは、<3.3>節(b)項で示した機能的な位置付けから、OSI通信規約と一般業務プロセスの中間に挿入され、図5に示す構成をとる。API/F通信規約が果たすべき機能は、概して以下の5項目である。

ア. 予め接続許可されている相手システムか否かの識別と、相手システムの計算機モード(運転、待機、試験、シミュレーション等)を意識したコネクション(論理的伝送路)の設定・解放の方法とタイミングの規定

イ. コネクションの健全性チェック

ウ. 通信網への加入形態の違いの吸収

エ. プロセス情報の送受信方法の規定

オ. ファイル転送処理の前後に必要な手続き方法の規定

図5 API/F通信規約モデル
Fig. 5. API/F Communications Protocol Model.

API/F通信規約は、上記機能を実現し、規約規定上での厳密性の確保、将来の拡張性やメンテナンス性の向上といった目的から、図5に示したように代表的機能単位に機能層を規定し、各機能単位にサービス定義およびプロトコル仕様を規定する方法をとっている。ここで、プロセス情報伝送に係わる各機能層の関係は複雑であるため、プロセス情報伝送関係の機能ブロックを図6にて図解する。

図6 API/F規約のプロセス情報伝送機能ブロック図
Fig. 6. Block Diagram of the Process Information Transmission Function in the API/F Communications protocol.

以下に各機能層単位に概略機能仕様を解説する。

(1) コネクション管理機能

コネクション管理機能は、以下の3つの機能に大別される。

(a) カーネル機能

コネクション管理カーネル機能は、コネクションの確立、解放タイミングおよびその方法について規定したものである。その概略仕様を表3に示す。

表3 コネクション管理カーネル機能の概要
Table 3. Brief Description of the Connection Management Kernel Function.

概 略 機 能	プロセス情報伝送用コネクション	ファイル伝送用コネクション
コネクション数	一対向システム、一物理的伝送路あたり一本	ファイル転送一回につき一本
コネクション確立タイミング	システムおよび伝送路が健全時は常時確立する。	ファイル転送の都度確立、終了後解放
コネクション接続時の相手システム確認	コネクション接続時に相手システムのNSAPアドレスを調査し、予め接続を許可されたシステムとのみコネクションを接続する。	同 左
異なる計算機モードでのコネクション接続排除機能	セッション層あるいはトランスポート層のセレクタ値を運転モードと試験モードで切替える。コネクション接続時、相手システムのセレクタ値を調査し、異なる計算機モードでの要求では、コネクション接続を拒否する。	同 左

NSAP：ネットワークサービスアクセスポイント

特に異なる計算機モードでのコネクション接続排除機能は、以下の理由から電力系統監視・制御システムには非常に有効な規約とすることができる。

ア. セキュリティ管理

試験に供する計算機のモード遷移、試験系計算機への伝送路接続は、対向試験を行うシステム相互で非同期に行われる。このため、運転モードの計算機と試験モードの計算機が物理的に接続されるタイミングが生じる。しかし、本規約を採用することによって異なる運用モード相互のコネクション接続は行われないため、試験用データが運転モードの計算機に入力される危険性を排除することができる。

イ. メンテナンス性の向上

対向するシステム相互のモード認識は、通信プロトコルという非常に基本的な機能で行われ、同一種別モードの計算機のみがコネクション確立可能となる。このため、プロセス情報伝送にて使用するユーザー伝送フォーマットは、モードに依存せず同一とすることができる。これにより試験モード環境で確認された有効性は、運転モードにおいても同一の有効性が保証され、メンテナンス性の向上が期待できる。

(b) 2ルート送信機能

システム間結合に要求される信頼度と運用の考え方から、2ルート送信機能は以下のいずれかのデータ送信方法を選択し得る機能を保有する。

ア. 相手システムとのコネクションが1ルートしか確立していない場合、当該ルートに対してのみデータを送信する
イ. 相手システムとのコネクションが2ルート確立している場合でも、いずれかのルートに対してのみデータを送信する

ウ. 相手システムとのコネクションが2ルート確立している場合、両ルートに対して同一データを同一タイミングで送信する

ただし、イ項とウ項の選択は相手システム毎に予め指定されるものとし、イ項からア項への移行あるいはウ項からア項への移行は自動的に行われることとしている。(図7)

SW：1ルート送信の場合 常に健全コネクション側に倒れる論理SW
2ルート送信の場合 両コネクション側に接続している論理SW

図7 2ルート送信機能概念図
Fig. 7. Concept Diagram of the Dual Connection Management Function.

(c) ヘルスチェック機能

プロセス情報用コネクションは、送信するデータの有無にかかわらず常時張られている。送信するデータが無いタイミングで、システム側、あるいは網側の何らかの障害でコネクションが切断された場合でも、可能な限り早期にコネクション切断を検出するため、以下に示すコネクションのヘルスチェック機能を導入している。(図8)

ア. 送信側は、確立されているコネクション単位に、一定周期でヘルスチェックデータを送出する

イ. 受信側は、確立されているコネクション単位に、一定周期でヘルスチェックデータが更新されているかをチェックする

図8 ヘルスチェック機能概念図
Fig. 8. Concept Diagram of the Health Check Function.

(2) 後着廃棄機能

送信元システムの2ルート送信機能で、2ルート同時、同一データ伝送が行われた場合、受信側では2つの同一データを受信してしまう。

後着廃棄機能は、同一の、あるいは異なるコネクションから受信した同一送信元の複数の同一内容データのうち、

図9 後着廃棄機能概念図
Fig. 9. Concept Diagram of the Later Data Discarding Function.

先に受信したデータをアプリケーションに渡し、後着データを廃棄する機能を提供している。(図9)

(3) 送達確認機能

電力系統監視制御システムにおいて取り扱われるプロセス情報には、機器の状態変化情報や制御指令、故障メッセージの様なイベント情報と、定周期に情報を入力しなければならない定周期情報の2種類が存在する。

この中でイベント情報の順序性、連続性を保証するには、送信側、受信側においてデータ毎に送達確認を取る必要がある。

本機能では、データ送信に関してアウトスタンディング数を1とする送達確認を提供している。(図10)

図10 送達確認処理概念図
Fig. 10. Concept Diagram of Arrival Confirmation Processing.

(4) FTAM管理機能

FTAM管理機能は、ファイル転送に伴う諸手続の実行機能を提供する。

FTAM管理機能では、ファイル転送の運用形態を考慮して、クライアント・サーバモデルに基づく、Write機能とRead機能の2種類の利用形態をサポートしている。

(a) FTAM Write機能

FTAMで提供しているファイル書き込み機能を用いて、クライアント側のファイルをサーバ側へ転送する利用形態である。(図11)

図11 ファイルWrite機能
Fig. 11. File Write Function.

(b) FTAM Read機能

FTAM Readの利用形態では、ファイル送信側がプロセス情報伝送用コネクションを通じファイル受信側に通知し、ファイル受信側（クライアント側）がFTAMで提供しているファイル読み出し機能を用いてファイル転送を実現する利用形態である。(図12) この機能を実現するため、FTAM管理機能層は送達確認機能層とのインタフェース部分を活用している。(図5, 図12)

図12 ファイルRead機能
Fig. 12. File Read Function.

5. 性能評価試験

<5.1> 性能評価試験における諸元

リアルタイム性が重視されるRCN通信規約が、当初設定した性能目標をどの程度満足するかを確認するため、性能評価試験を実施した。

一般に、データ伝送における通信規約の性能は直接的、間接的に以下に依存して決定される。

- ア. OSの種類、性能
- イ. CPU性能（MIPS値）
- ウ. 処理優先度
- エ. 通信規約の実装方法
- オ. ソフトウェア、ファームウェアの構成方法
- カ. 通信網内での伝送遅延時間

RCN通信規約として製作した製品においてもこれらが複雑に影響し合い一般的な評価が困難であるが、測定データを評価する上で参考となるであろう各項目および試験環境を表4、表5および図13に示す。

表4 試験環境諸元
Table 4. Test Environment Specifications.

項目	諸元
CPU	5.7 MIPS (32ビットマイクロプロセッサ)
主メモリ	16 MB
OS	リアルタイム用OS
通信規約実装方法	図13に示す
専用線接続	48 kbps接続
パケット	表5に示す
交換網接続	(試験中の中継段数は2段)

図 13 通信規約実装方法
Fig. 13. RCN Communications Protocol Installation procedures.

表 5 パケット交換網諸元
Table 5. Packet Switching Network Specifications.

項 目	性 能	備 考
P S 処理 時間	20~50 ms/パケット	パケットを受信完了してから送信待ち行列に登録するまでの時間
P S 処理 能力	3 0 0 パケット/s	
加入者回線速度	4 8 kbps	
PS間中継線速度	4 8 kbps	
PS間中継線容量	48~144 kbps	通常のトラフィック量に対し十分な容量

PS: Packet Switch(パケット交換機)

なお本試験環境は、現在実際に運用されている環境と全く同一であり、電力系統監視・制御用計算機や私設パケット交換網としても一般的なものである。

〈5・2〉セッションコネクション確立時間

データ伝送におけるリアルタイム性が重要視されるプロセス情報伝送では、データ転送可能状態、すなわちコネクション確立までに要する時間が重要とされる。本試験では、セッションコネクション確立までに要する時間を測定した。その結果を図14に示す。

図 14 セッションコネクション確立時間
Fig. 14. Time To Establish Session Connection.

専用線では1秒以内、パケット交換網でも1.5秒程度でコネクションを確立した。プロセス情報伝送用コネクシ

ョンを、データ伝送の都度確立し、データ伝送終了後解放するといった方法では、プロセス情報の伝送要求レスポンスを満足できない恐れがある。このため、プロセス情報伝送用コネクションは、データ伝送に備えて常時確立しておく必要があるとの結論を得た。

〈5・3〉伝送遅延時間の測定

(1) 専用線接続における伝送遅延時間

専用線48kbps接続においてユーザデータ長8kバイトまでのデータを送信し、以下を測定した。

Y: データリンク層以下における伝送遅延時間 (ms)

Z: データ送信から受信までの総伝送遅延時間 (ms)

この結果を図15に示す。なお図15中Xは、専用線48kbpsでデータを単にシリアル伝送した場合に要する物理的伝送遅延時間の理論値である。

図 15 専用線48kbpsにおける伝送遅延時間
Fig. 15. Transmission Delay Time in Using Dedicated Line (48kbps).

(2) パケット交換網における伝送遅延時間

パケット交換網における伝送遅延時間は、その時のトラフィック量や中継ルート、中継段数等に左右され、実測データから一般的評価を行うことは困難である。

このため、パケット交換網内での伝送遅延時間は、表6に示す仮想パケット交換網における理論的な伝送遅延時間pにて算定するものとした。

$$p = 0.195 L + 300 \quad (\text{ms})$$

L: ユーザデータ長 (バイト)

表 6 仮想パケット交換網諸元
Table 6. Virtual Packet Switching Network Specifications.

項 目	条 件	備 考
パケットサイズ	2 5 6 バイト/パケット	
加入者回線	5 0 ms/パケット	$50 = 43 + \alpha$
P S 内処理時間	5 0 ms/パケット	最大処理時間採用
P S 間中継線での伝送遅延時間	5 0 ms/パケット	$50 = 43 + \alpha$
中継段数	一律 3 段	
データ再送	考慮しない	伝送路障害等なし

なお表6に示す仮想パケット交換網諸元は、現在中部電力で使用されているパケット交換網の性能諸元（表5）に準じて設定されたものであり、私設パケット交換網の性能としても一般的なものである。

データ伝送に関して、専用線とパケット交換網のネットワーク層規約とトランスポート層規約はほぼ同一である。このため通信媒体を仮想パケット交換網とした場合の総伝送遅延時間Pは以下のように近似できる。

$$P = Z - Y + p$$

$$= 0.208 L + 487 \quad (\text{ms})$$

L: ユーザデータ長 (バイト)

〈5・4〉 プロセス情報伝送における性能評価結果

伝送媒体を専用線48kbps、9600bps、仮想パケット交換網に選定した場合の伝送遅延時間を図16に示す。なお図16中では、〈2・2〉節、表1にて設定したプロセス情報伝送における性能要求ニーズの上限を破線にて示している。

図16 プロセス情報データの伝送遅延時間
Fig. 16. Delay Time in Transmitting Process Data.

この結果から、いずれの伝送媒体でも、性能要求ニーズの上限を満足することが確認された。ただし、専用線9600bpsにおいては伝送情報量が多い部分ではニーズに対して余裕がないため、適用する箇所・業務については十分な事前検討が必要であろう。

〈5・5〉 ファイル転送における性能評価

図12に示したファイルRead利用形態にて、必要とされる諸手続き時間を測定した結果を表7に示す。

表7 ファイルReadに係わる諸手続き時間測定結果
Table 7. Measured Time for File Transfer Procedures.

測定箇所	測定データ内容	測定結果
ファイル送信元システム	ファイル送信要求(プロセス)～ファイルRead要求送出	1.5秒
ファイル受信システム	ファイルRead要求受信～ファイルRead開始	0.5秒
ファイル受信システム	ファイルRead完了～ファイルRead完了通知送出	2.5秒

表7に示す時間は、転送するファイルサイズによらず一定であり、ファイルReadの前後にファイル転送に係わるプロセス相互の通信として、4.5秒程度が必要であるこ

とを示している。

図17 ファイル転送時間
Fig. 17. File Transfer Time.

また図17では、転送するファイルサイズと転送（読出し）時間の測定結果を両対数で示している。伝送媒体をパケット交換網とした場合のデータは、〈5・3〉節（2）にて示した仮想パケット網での伝送遅延特性を用いている。なお、図17中破線で示した部分は、〈2・2〉節、表1にて設定したファイル転送に関する性能要求ニーズの上限である。

この図から、ファイル転送においてもRCN通信規約は、当初設定した性能要求ニーズを満足することが確認された。

6. むすび

中部電力では、今回開発したRCN通信規約によって、給電制御所システム相互や、給電制御所システムと配電自動化システムやダム管理所システムとの相互接続を計画している。このうち平成6年1月、基幹給電制御所と名古屋、岐阜、三重、岡崎の各支店給電制御所システムの相互接続が運用開始した。（図18）これらのシステムは、RCN伝送機能を用いて、互いに必要とする表示、計測、記録情報の交換や、相手システム管轄電気所の開閉器制御の依頼情報等の交換を行っている。

図18 給電制御所システムのネットワーク加入概念図
Fig. 18. Concept Diagram of Dispatching/Control Systems Subscribing to the Network.

このように相手システムとの連系が強化されたことにより、電力系統の一貫した運転・制御が可能となり、平常時運用の円滑化と故障時運用の迅速化が期待されている。

本論文では、RCN通信規約策定に至る考え方や規約の詳細、性能評価試験結果のあらましについて述べた。本通信規約は電力系統監視・制御システム用ネットワークを構築する際の基幹技術を提供するものであるが、同様なシステム構成、同様なニーズをもつ制御用計算機利用産業においても、規約制定に至る考え方や機能、性能ニーズの実現方法、性能評価結果等十分に活用し得るものと考えている。

(平成6年8月25日受付, 同6年12月22日再受付)

文 献

- (1) 佐脇康之・加藤登・栗田養逸・米満順一・宝田光洋：「電力情報パケット網における二系列方式」, 電学論C, 108, 11 (昭63)
- (2) 常泉哲男・原田義久：「異機種制御用コンピュータ間の標準通信規約の開発」, 平3日本電気協会研究発表会
- (3) 高橋敏・常泉哲男・須田京真・久保喜義・川本克行・宮村尚孝：「電力系統運転制御用コンピュータネットワークの開発」, 平4電気学会電子・情報・システム部門第2大会
- (4) S. Takahashi, T. Tsuneizumi, T. Yanai, K. Kubo, K. Kawamoto, S. Shimomura: "Development of Network Protocols for SCADA Interconnections in Chubu Electric Power Company", CIGRE SC35 1993 Colloquim
- (5) B. W. Meister, P. A. Janson and L. Svobodova: "Connection-oriented versus connectionless protocols: a performance study", IEEE Trans. Comput., C-34, 12, pp. 1164-1173 (1985)
- (6) 稲井寛・横平徳美・下条真司・宮原秀夫：「ローカル・エリア・ネットワークにおける階層化通信プロトコルの性能評価」, 第35回情処学全大, pp. 527-528 (昭62)
- (7) 稲井寛・横平徳美・村田正幸・宮原秀夫：「階層型通信プロトコルの性能評価」, 信学論B-I, J73-B-I, 5, pp. 505-515 (平2)

太田 宏次 (正員) 1932年11月29日生。1955年3月東京大学工学部電気工学科卒業。同年4月中部電力(株)入社。主として電力系統の建設計画および系統保護・安定化・自動制御等に関する技術開発に従事。現在, 同社取締役副社長。1971年オーム技術賞受賞。1992年電気学会業績賞受賞。

城後 譲 (正員) 1945年8月21日生。1969年3月名古屋大学工学部電気学科卒業。同年4月中部電力(株)入社。主として発電設備・電力系統制御システムに関する技術開発および電力系統の建設計画業務に従事。現在, 同社制御通信部副部長。

高橋 敏 (正員) 1957年6月29日生。1982年3月北海道大学大学院電気工学修士課程修了。同年4月中部電力(株)入社。主として電力系統監視・制御システムの研究開発に従事。現在, 同社制御通信部に勤務。

常泉 哲男 (正員) 1957年10月25日生。1985年3月豊橋技術科学大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年4月中部電力(株)入社。主として情報ネットワークおよび電力系統制御に関する研究に従事。現在, 同社静岡給電制御所勤務。電子情報通信学会会員。

須田 京真 (正員) 1964年8月22日生。1986年3月茨城大学理学部物理学科卒業。1989年9月(株)日立製作所入社。電力計算機システムの設計に従事。現在, 同社大みか工場電力システム設計部に勤務。

久保 喜義 (正員) 1963年4月15日生。1988年3月広島大学大学院工学研究科博士課程前期(システム工学専攻)修了。同年4月広島大学助手。1989年4月(株)東芝入社。電力系統監視・制御システムの開発に従事。現在, 同社府中工場電力計算機システム部に勤務。

川本 克行 (正員) 1947年7月31日生。1971年3月関西大学電気工学科卒業。同年三菱電機(株)入社。電力系統制御システムの設計に従事。現在, 同社制御製作所電力系統部主幹。

宮村 尚孝 (正員) 1964年10月20日生。1986年3月成蹊大学電気工学科卒業。同年4月富士電機(株)入社。主に電力系統制御システムの設計開発に従事。現在, 同社電力システム事業部系統制御技術部に勤務。