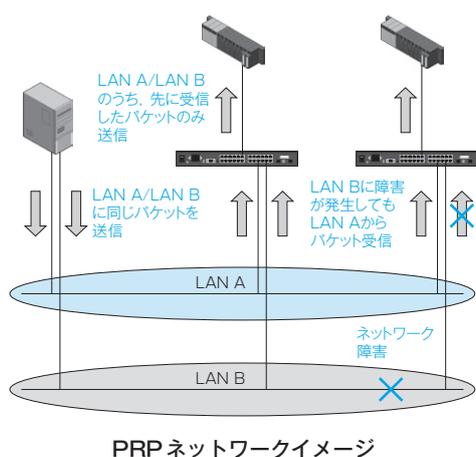


# ネットワーク冗長化技術PRP (Parallel Redundancy Protocol) の開発

越谷 涼 Ryo Koshiya  
立石 靖 Yasushi Tateishi  
田島昌明 Masaaki Tajima

キーワード PRP, 冗長化, インフラネットワーク, スイッチングハブ

## 概要



当社は、インフラ向けの産業用機器及びネットワークシステムを提供している。インフラネットワークでは、障害が発生した場合でも通信が継続するための冗長性が求められる。信頼性の要求が厳しいデジタル変電所向けに、国際標準規格で規定されたネットワーク冗長化プロトコルPRP (Parallel Redundancy Protocol) を適用することで、障害が発生した場合でもダウンタイムゼロの高信頼性ネットワークが実現できる。PRPは、変電所に限らず様々なネットワークに対し、高い信頼性を提供できる。

当社では、国際標準規格に準拠したPRPネットワーク冗長化ソフトウェアを開発し、そのソフトウェアを産業用スイッチングハブ製品に適用した試作機を評価した。

## 1 まえがき

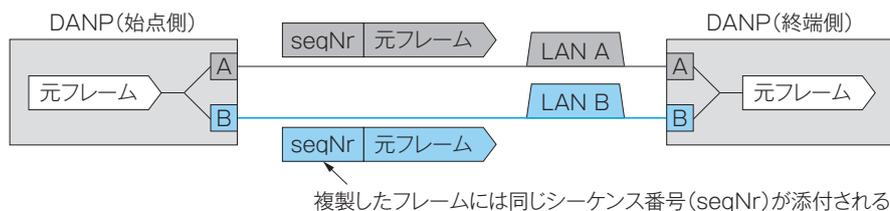
国内の電力会社では、国際標準規格IEC 61850を適用した変電所のデジタル化が進められており、堅ろうなネットワークの実現手段として、冗長化プロトコルPRP (Parallel Redundancy Protocol) の適用が検討されている。PRPはIEC 62439-3で定められた標準化プロトコルで、様々なメーカーの機器が接続されるデジタル変電所ネットワークに適している。RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol) など標準化された冗長化プロトコルは複数存在するが、その多くは障害発生に伴い、短時間ではあるがダウンタイムを伴う。PRPはネットワークを二重化し、同じパケットを二つのネットワーク経路で同時に通信させるため、片方のネットワークに障害が発生し

た場合でも中断無く通信できる。PRPを用いることで、通信障害が許されないインフラネットワークなどでダウンタイムゼロのネットワークが構築できる。本稿では、当社が開発したPRPネットワーク冗長化ソフトウェアをスイッチングハブに実装評価した結果を紹介する。

## 2 PRP 概要

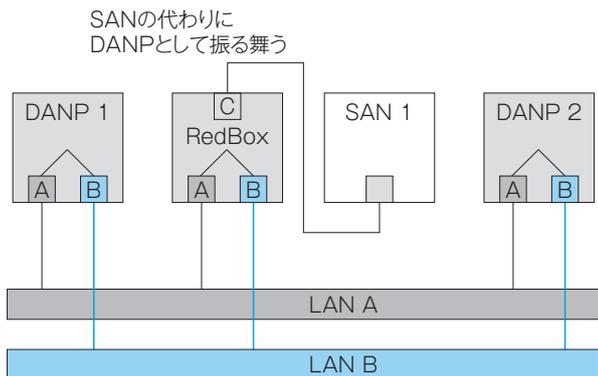
### 2.1 基本原理

第1図にPRPの概念を示す。イーサネットフレームが始点ノードで複製され、物理的に異なる二つの経路を通じて並行して送信される。終端ノードではそのうち一つを使用するか、一つに絞って宛先に転送する。複製されたイーサネットフレームの



### 第1図 PRP概念

始点ノードでフレームを複製し、二重化された経路に転送する。終端ノードでは、先着したフレームのみ宛先に転送する。片方のフレームが喪失しても他方のフレームが宛先に届くため、フレームの欠損が生じない。



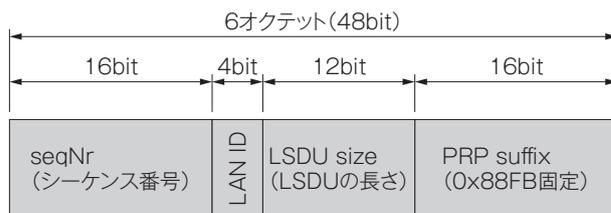
### 第2図 RedBox構成例

RedBoxがSANの代わりにDANPとして振る舞うことで、SANがPRPネットワークに接続できる。

うち、一方が喪失したとしても、もう一方が宛先に到着すれば、エンドホストから見ればイーサネットフレームの欠損が生じない。第2図にRedBox (Redundancy Box) の構成例を示す。PRPをサポートするノードをDANP (Doubly Attached Node implementing PRP) と呼ぶ。これに対し、PRPをサポートしない一般的なノード (普通のパソコンなど) をSAN (Singly Attached Node) と呼ぶ。複製された二つのイーサネットフレームには、同一のシーケンス番号が添付される。終端側のDANPで、到着したフレームに添付されているシーケンス番号を参照する。同じ番号が付いているイーサネットフレームのうち、先に到着したフレームを宛先に転送し、後着のイーサネットフレームを破棄する。RedBoxがSANの代わりにDANPの役割を担うことで、PRPによって冗長化できる。

## 2.2 RCT (Redundancy Check Trailer)

PRPでは、イーサネットフレームにシーケンス番



### 第3図 RCT構成

RCTは四つの情報を含み、合計サイズは6オクテットである。

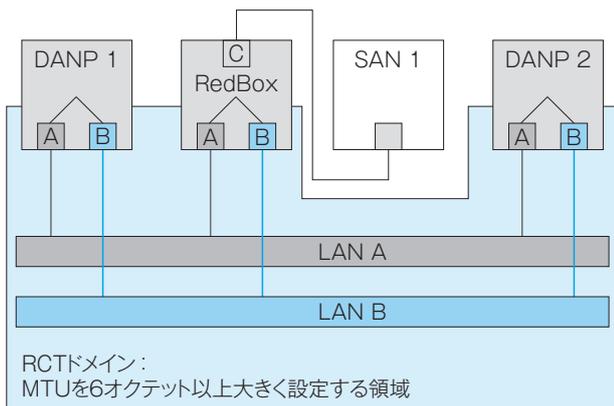
#### 第1表 RCT構成項目

RCTは、シーケンス番号・LAN ID・LSDUサイズ・PRPサフィックスの4項目で構成される。

項目	内容
seqNr (シーケンス番号)	複製して生じた二つのフレームの同一性を確認するための連番
LAN ID	通過するLAN (A又はB) に対応する経路識別子。LAN Aから送信する複製フレームに対しては1010 (0xA)、LAN Bから送信するフレームに対しては1011 (0xB) をセット
LSDU (Link Service Data Unit) サイズ	複製されたフレームのペイロードの長さをここに格納
PRPサフィックス	RCTがフレームに添付されているかを判別するための番号で、値は0x88FB

号のほか、付帯情報も併せて付加される。付加される情報はRCTと呼ばれる。第3図にRCTの構成を、第1表に構成項目を示す。

RCTの合計サイズは6オクテットであるため、RCTを付加するイーサネットフレームサイズが、既にMTU (Maximum Transmission Unit) に達している場合や、MTUまでの残りサイズが6オクテット未満の場合は、RCT付加後のフレームサイズがMTUを超過してしまう。そのためLANを通過できなくなり、対策が必要となる。第4図に



第 4 図 MTU 超過対策の概念

フレームサイズが MTU を超えないようにするために、RCT ドメインの MTU を通常領域よりも 6 オクテット以上大きく設定する必要がある。

MTU 超過対策の概念を示す。対策として、RCT 付きイーサネットフレームが通過する領域（RCT ドメイン）の MTU を通常の領域よりも 6 オクテット以上大きく設定する。このようにすれば、RCT を付加しても MTU を超過することはないため問題は発生しない。しかし、本 MTU の問題は、MTU サイズでの疎通確認を実施しないと検出されず、ping (packet internet groper) などのサイズが小さいフレームでの疎通確認では検出できないことに留意する必要がある。

## 3 当社 PRP 実装

### 3.1 基本方針

本技術開発では、IEC 62439-3 規格で規定されている PRP に関する全ての条項を試作ソフトウェアに実装した。ノードテーブルなどの条項は、規格ではオプションであるが、全て実装した。

### 3.2 ノードテーブル

ノードテーブルは、ネットワーク監視結果を記録するためのデータストアである。ノードテーブルには、ネットワーク監視によって検出したリモートノードをエントリーとして登録する。リモートノードとはネットワークにつながっているノード (DANP・RedBox・SAN) のことである。受信し

第 2 表 ノードテーブルのエントリー内容

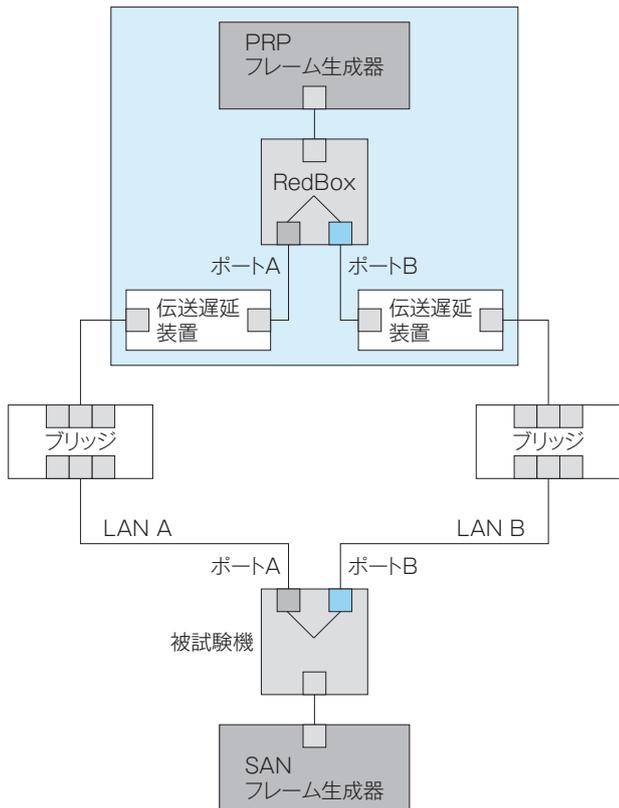
ノードテーブルには、リモートノードの Mac アドレスなど 10 項目の内容が含まれる。

項目	内容
MacAddress	リモートノードの Mac アドレス
RemNodeType	リモートノードの分類を表す列挙値
CntReceivedA	ポート A で受信したリモートノードからのフレーム数
CntReceivedB	ポート B で受信したリモートノードからのフレーム数
CntErrWrongLanA	ポート A で受信したフレームの内、LAN ID が 1010 でないフレーム数
CntErrWrongLanB	ポート B で受信したフレームの内、LAN ID が 1011 でないフレーム数
TimeLastSeenA	このリモートノードが送信したフレームをポート A で最後に受信した時刻
TimeLastSeenB	このリモートノードが送信したフレームをポート B で最後に受信した時刻
SanA	このリモートノードが LAN A 上の SAN の場合、これを True にする。
SanB	このリモートノードが LAN B 上の SAN の場合、これを True にする。

た複製フレームなどを確認し、エントリー内容を更新する。第 2 表にエントリー内容を示す。ノードテーブルを確認することで、各ノードとの接続状態を確認できる。

### 3.3 コンフォーマンステスト

IEC 62439-3 では、装置が規格に適合しているかを確認するためのコンフォーマンステストが規定されている。コンフォーマンステストでは、一台の DANP 又は RedBox をテストする。複数の被試験機を連携させるテストは設定されていない。RedBox を被試験機としてテストする場合も DANP の機能のみがテストされる。第 5 図にコンフォーマンステストの装置構成を示す。PRP フレーム生成器から RedBox を経由してテストフレーム (ユニキャスト・マルチキャスト) を送信し、被試験機に受信させる。RedBox のポート A、ポート B には伝送遅延装置を接続する。LAN A、LAN B 上のブリッジは PRP 通信自体には関与しないが、BPDU (Bridge Protocol Data Unit) を被試験機に受信させ、その反応を確認するために設置されている。



第5図 コンフォーマンステスト装置構成

フレーム生成器・RedBox・伝送遅延装置などを用いて、被試験機のDANP機能をテストする。

試作したPRPソフトウェアを実装したスイッチングハブ製品を被試験機としてコンフォーマンステストを実施し、規格に適合していることを確認した。なお、試作機はPTP (Precision Time Protocol) 非対応であるため、PTPフレーム処理の項目は除外している。

## 4 むすび

国際標準規格であるPRPに準拠したネットワーク冗長化ソフトウェア開発の概要を紹介した。本ソフトウェアを産業用機器に適用し、PRPネットワークを構築することで、障害が発生した場合でもデータの欠落がなく通信を継続できるネットワークを実現できる。

今後も更なる信頼性の向上を図り、堅ろうなネットワークシステムに貢献する製品を提供していく所存である。

- ・イーサネットは、富士フイルムビジネスイノベーション(株)の登録商標である。
- ・Macは、米国及び他の国々で登録されたApple Inc.の商標である。
- ・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

### 《執筆者紹介》



越谷 涼  
Ryo Koshiya  
製品技術研究所  
通信関連機器の開発に従事



立石 靖  
Yasushi Tateishi  
製品技術研究所  
通信関連機器の開発に従事



田島 昌明  
Masaaki Tajima  
製品技術研究所  
通信関連機器の開発に従事