

情報分電盤に向けた分散データ管理方法の提案

高畑 泰志[†] 飯塚 剛[†] 相浦 利治[†] 水野 忠則^{††}

[†]三菱電機株式会社情報技術総合研究所 ^{††}静岡大学情報学部

日本政府が進める e-Japan 戦略 II や電力自由化政策が目指す高度なサービスを実現するには、一般家庭を含む多数の需要家からのリアルタイムな遠隔検針が必要になる。本稿では、e-Japan 戦略 II に盛り込まれた「情報分電盤」等の広域に分散するデータの管理と収集方法について提案する。まず、階層型分散データ管理により多数の分散データの管理を実現した上で、分散スナップショットを導入することにより、時刻整合性のとれたデータ収集を可能にする。また、前者については基本機能を試実装することにより、基本機能の動作と実装面の実現性を確認する。最後に実用化に向けた今後の課題についても触れる。

A Proposal of Distributed Data Management Mechanism through Information Distribution Boards

Yasushi TAKAHATA,[†] Tsuyoshi IIZUKA,[†] Toshiharu AIURA[†]
and Tadanori MIZUNO^{††}

[†]Information Technology R & D Center, Mitsubishi Electric Corporation

^{††}Faculty of Information, Sizuoka University

The Japanese government promotes the “e-Japan strategy II” and the deregulation of electricity market. They aim at higher-level services, which require real-time telemetering from huge number of consumers. We propose distributed data management and collection mechanism through information distribution boards described on the e-Japan strategy II. The proposal consists of two components: the first is hierarchical data management for huge number of distributed data, and the second is distributed snapshot to enable time-aligned data collection. We have implemented the basic functions of the former and checked the behavior and the feasibility. Finally, we mention on subjects to be solved for practical use.

1. はじめに

日本政府が進める e-Japan 戦略 II¹⁾では、生活の分野における IT 利活用の取り組みの例として、「2005 年までに、ガス、水道、電気等の遠隔検針を実施し、2008 年までに希望する全ての世帯について実施可能とする。」とつたわれており、その対応として「電気、ガス、水道等の遠隔共同検針等も可能となる家庭内の様々な情報を集約する装置（情報分電盤）を組み入れたシステムの開発及び普及を推進する。」とある。さらに、電力自由化²⁾においても、その対象が従来の大口需要家から一般家庭等の小口需要家に拡大することが予想されるが、そこでは大規模な遠隔検針が求められる。

このように e-Japan 戦略 II や電力自由化が目指す高度なサービスで必要とされる、情報分電盤及びそれを介した大規模な遠隔検針システムを実現するには、広域に分散する膨大なデータ管理と収集が課題になる。本稿では、この課題解決策として、次のような分散データ管理・収集方法を提案する。

- (1) 分散データを階層的に管理することにより、多数の分散データの管理を可能とする。
- (2) 分散データをその管理情報とともに時刻断面で凍結した分散スナップショットを単位に管理することにより、時刻整合性のとれたデータ収集を実現する。
- (3) 比較的性能の低い組込機器にも導入可能な軽い実装とする。

さらに、提案する方法について基本的な機能について試実装と評価を行い、その結果をもとに実装条件の面から実現性を確認する。最後に実用化に向けた今後の課題について触れる。

2. 遠隔検針への要求

遠隔検針に関する動きとして、e-Japan 戦略 II が掲げる安心・便利な生活の実現と、電力自由化からの要求がある。

2.1. e-Japan 戦略 II への対応

情報分電盤を用いた遠隔検針システムで想定される構成を図 1 に示す。一般家庭には情報分電盤が設置され、家庭内の様々な情報が集約されるとともに、広域ネットワークを介した情報のやり取りが行われる。情報分電盤には、電気、ガス、水道メータが接続され、電気・ガス・水道事業者（または検針事業者）により、広域ネットワークを介した遠隔検針が行われる。さらに、各種センサや情報家電も情報分電盤に接続され、広域ネットワークを介して病院・医師、救急センタ、小売業者・宅配事業者等と情報をやり取りすることにより、高度なサービスが提供される。その例として、家電機器の使用状況等で生活リズムを検知し、緊急時には救急センタに連絡する、センサ等の情報による高齢者等の在宅健康管理といったサービスが検討されている。

e-Japan 戦略 II では、これらの IT による高度なサービスにより、高齢化社会においても、安心・便利な生活の実現を目指している。しかし、その具体的な実現方法としては、家庭内に情報分電盤を設置することは提言されているものの、サービスの提供者が、膨大な数にのぼる一般家庭からのデータをどう管理・収集するかまでは言及されておらず、大きな課題として残っている。

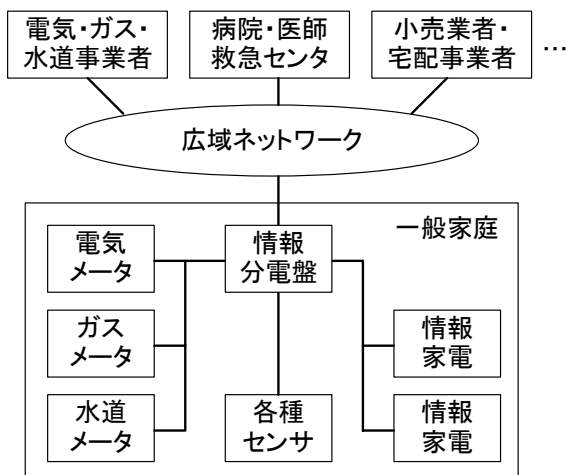


図 1 e-Japan 戦略 II でのシステム構成

2.2. 電力自由化への対応

遠隔検針を必要とするもうひとつの流れとして、電力自由化があげられる。現状、大口需要家への電力供給の自由化が進められているが、次第に自由化の対象がより小口の需要家にまで広げられる²⁾。表 1 に示すように、特別高圧需要家（2,000kW 以上、8 千口）は 2000 年から、高圧需要家の内 500kW 以上の契約（4 万口）は 2004 年から、50kW 以上の契約（70 万口）は 2005 年から自由化対象となる。低圧需要家（50kW 以下、640 万口）および電灯需要家（家庭、7,000 万口）を含めた完全自由化は 2007 年以降に検討されることになっているが、その市場規模は合わせて 6.6 兆円にもものぼり非常に大きい。

電力自由化においては、需要家が時間毎に契約する電力供給者を変更できるようになると想定されるため、決済時間区分毎に検針可能にする必要がある。また、電力供給者の発電電力量と、それが契約する需要家の消費電力量が、ある一定時間内で等しいこと（同時同量）の確認が必要になる³⁾。発電電力量と消費電力量の間に偏差（インバランス）があると、その調整に対して電力小売事業者には費用負担が生じる。この要求に対応するためには、需要家における消費電力量のトレンドを需要プロファイルで近似する方法も候補になるが、実消費電力量との誤差の問題がある。この解決及び顧客サービスの高度化のためには、各需要家（完全自由化時には一般家庭を含む）における消費電力量を、リアルタイムに検針することが求められる⁴⁾。消費電力量の変化に追従して発電電力量を制御できれば理想的であり、そのためには膨大な数にのぼる需要家からの遠隔検針の実現と、収集するデータの時刻一貫性が求められる。

図 2 に電力自由化におけるデータの流れを示す。電力小売事業者は、各需要家から直接または検針事業者を介して、消費電力量を遠隔検針により計測する。並行して、発電事業者から発電電力量を入手する。こうして得られた消費電力量と発電電力量を一定時間内（例えば現状では 30 分）で等しくするために、発電事業者に対して発電電力量の制御を指示する。このようにして、電力小売事業者が契約する需要家による消費電力量と、発電事業者による発電電

表 1 電力自由化の動向

種別	特別高圧	高圧	低圧	電灯	
範囲	>2,000kW	>500kW	>50kW	<50kW	家庭
契約数	8千	4万	70万	660万	7,000万
市場	2.8兆円	5兆円		1.1兆円	5.5兆円
時期	2000年	2004年	2005年	2007年以降	

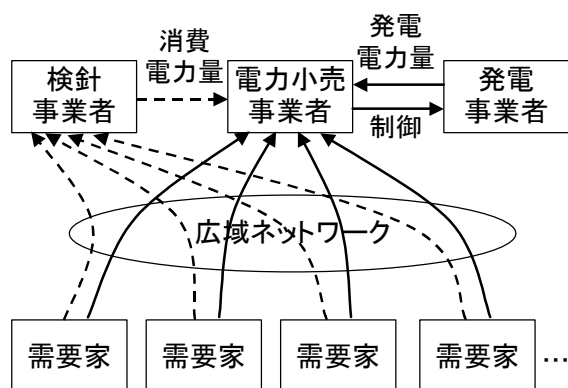


図 2 電力自由化におけるデータの流れ

力量の同時同量を維持する。

従来は、電力自由化の範囲が大口需要家に限定されていたため、遠隔検針の対象も比較的少数です済んでいたが、今後自由化の範囲が拡大するにしたいが、遠隔検針の対象が膨大な数にのぼることが予想される。また、同時同量を維持できない場合には、電力小売業者に費用負担が予想されるため、消費電力量と発電電力量の差を発電電力量制御にリアルタイムにフィードバックすることが求められる。したがって、膨大な数にのぼる需要家のデータにリアルタイムにアクセスすることが求められる。

2.3. 解決すべき課題

以上より、今後の遠隔検針におけるデータ管理では、次のような特徴をもつ技術が求められる。

(1) 多数の分散データの管理

一般家庭まで遠隔検針対象を広げるには、最終的に千万級のデータ数に対応可能な方式であること。

(2) 時刻整合性のとれたデータ収集

収集されたデータにもとづく高度なデータ分析と制御のためには、時々刻々変化し得る各データの採取時刻が揃っていることが期待される。

(3) 軽い実装

情報分電盤等の組込機器に実装するためには、コンパクトな実装が要求される。同時にデータ収集のリアルタイム性（数分以内）も求められるため、オーバーヘッドの小さい実装とする必要がある。

3. 関連技術

遠隔検針におけるデータ管理方法として表 2 に示すような候補があげられる。例えば、小規模ならば、従来から遠隔検針システムは実用化されている。また、分散するデータにアクセスするという視点では、計算機でのファイル共有や Web システム等の技術が実用化されている。それぞれの候補を大規模な遠隔検針に適用した場合について、以下に検討する。

表 2 遠隔検針でのデータ管理方法の候補

分類	従来型遠隔検針システム	ファイル共有	Web システム	階層型分散データ管理
名前管理	アプリケーション (集中管理)	ファイルクライアント (集中管理)	ディレクトリサーバ (集中管理)	MDFS サーバ (分散管理)
アクセス中継	なし (フラット)	なし (フラット)	なし (フラット)	MDFS サーバ (階層型)
データ供給	データポーリング	ファイルサーバ	Web サーバ	MDFS サーバ
アクセス対象	I/O (メータ値)	ファイル	ファイル等	分散スナップショット
論理構成モデル				

(AP: アプリケーション, NS: 名前管理サービス, FC: ファイルクライアント, FS: ファイルサーバ, WC: Web クライアント, DS: ディレクトリサーバ, WS: Web サーバ, MDFS: 分散管理サーバ, M: メータデータ)

3.1. 従来型遠隔検針システム

検針員による検針に不都合な地域等では、公衆回線を介した遠隔検針システムが導入されている^{5),6)}。遠隔検針アプリケーション (AP) の中に、需要家データの論理名称とメータデータ (M) の所在情報を対応付ける名前管理サービス (NS) 相当を備える。得られたデータ所在場所へアクセスすることにより遠隔検針を行う。

この方式では、高々1 万件程度を対象にした月 1 回程度の、小規模かつ非リアルタイムなデータ収集しか想定されておらず、多数の分散データの管理、時刻整合性のとれたデータ収集、リアルタイム性を実現するのは困難である。

3.2. ファイル共有

計算機システムにおいては、従来から NFS⁷⁾や CIFS⁸⁾といったネットワーク対応のファイルシステムによるファイル共有が実用化されている。情報分電盤をファイル共有におけるファイルサーバ (FS)、検針を行う事業者をファイルクライアント (FC) と考えれば、通常の共有ファイルとしてメータのデータにアクセス可能となる。ファイルクライアントで管理される名前をもとにファイルサーバ上のメータデータにアクセスすることにより遠隔検針を行う。

この方法では、クライアント上のアプリケーションプログラムからは、メータデータにも通常のファイルと同様にアクセスできるため、アプリケーションプログラムの作成が容易になるという利点がある。

しかし、ファイルクライアントが全てのファイルサーバとセッションを張ってデータにアクセスせねばならず、多数の分散データへのアクセスをリアルタイムで処理するのは困難である。また、各ファイルサーバ間の連携は疎となるため、時刻整合性のとれたデータ収集を実現することが困難である。この技術は、汎用の計算機への適用するためのものであるため、クライアントとサーバ間でのデータの整合性（一貫性）を厳密に制御するメカニズムが求められる。実装では組込用途への適用は考慮されていない。

3.3. Web システム

Web システムにおいては、ディレクトリ管理サーバ (DS) が分散データを管理する。アプリケーションはディレクトリ管理サーバに対して、需要家データの論理名称から、ファイルの所在情報への対応付けをディレクトリ管理サーバに依頼する。そこで得られた所在場所に対して Web クライアント (WC) 経由でアクセスすると、Web サーバがデータを返す。このようにしてアプリケーションは、需要家データからの遠隔検針を行う。

この方法では、通常の Web と同様にアクセスできるため、アプリケーションプログラムの作成が容易になるという利点がある。しかし、Web クライアントと Web サーバ間で張れるセッション数に限界があり、多数の分散データへのアクセスをリアルタイムで処理するのは困難である。また、各 Web サーバ間の連携は疎となるため、時刻整合性のとれたデータ収集を実現することが困難である。

4. 分散データ管理方法の提案

2.3 節に示す課題を解決するために、分散データ管理方法を提案する。まず、階層型分散データ管理により、データの管理・アクセスを分散させることにより、膨大な数の分散データの管理を実現可能とする。次に、データを時刻断面で凍結したスナップショットに対してアクセスすることにより、データの時刻整合性を実現する。

4.1. 階層型分散データ管理

従来技術では、データを集中管理しているため、千万級の数々のデータへのリアルタイムなアクセスは現実的でない。そこで、管理情報の分散が必要になるが、その方法としてアクセスクライアントの負荷分散及び階層的に管理する方法が考えられる。

(1) 水平型負荷分散

データアクセスを行うアプリケーションと、ファイルクライアントまたは Web クライアントを複数のサーバで水平的に負荷分散する。仮に 1 万軒分のデータアクセスをリアルタイムに処理可能なクラ

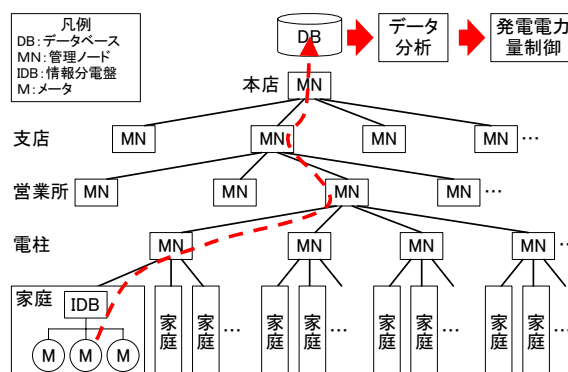


図 3 階層型分散データ管理

イアントがあれば、これを 1,000 台使うことにより全体で 1,000 万軒のデータへアクセス可能となる。ただし、複数のクライアントが収集したデータを一箇所のデータベースに集約するメカニズムが別途必要になる。

(2) 階層型分散データ管理・アクセス

別の方法として、データの管理とアクセスを中継する分散管理サーバ (MDFS, 5.1 節参照) を階層化構成とすることも考えられる。図 3 に階層型分散データ管理・アクセスの構成を示す。通常のファイルシステムにおけるディレクトリ (フォルダ) に相当するものを各管理ノード (MN) により分散管理するとともに、データへのアクセスも中継する。各家庭にはホームゲートウェイとして情報分電盤 (IDB) が設置され、家庭内のメータデータを管理して、外部に送信する。

この方法によれば、個々の管理ノードが管理すべき情報とアクセスする相手は、その親と子に限定されるため、管理ノードの実装を軽くできる。また、電力の需要家の所在は物理的 (地理的) にも階層構成となっており、論理的に階層的な管理との相性がよい。例えば、需要家の物理的な所在は、地方/都道府県/市町村のように階層化されており、各階層を例えばそれぞれの階層に対応する本店/支店/営業所/電柱上の管理ノードが管理する形態とすれば、論理的にも同様な階層構成で管理でき都合がよい。また、全体としてファイルシステム相当として実装すれば、アプリケーションから透過的にデータへアクセスできるようになる。さらに、次節に述べる分散スナップショットを実現するための基盤にもなる。

以上をもとにして、本稿では階層型分散データ管理による分散データ管理方法を採用することにする。

4.2. 分散スナップショット

需要家の検針データ (消費電力量) をもとに発電電力量を制御するためには、収集するデータの採取

時刻を揃える必要がある。時刻の揃っていないデータを集計して分析すると、誤差が増大してしまう。電力消費量から発電量にリアルタイムでフィードバックするには、同時同量の確認周期(30分)より十分短い周期で時刻整合性の取れた形でのデータ収集が望まれる。

計算機/ストレージの分野では、スナップショット技術により、ファイルシステムとしての整合性を維持した形で、瞬時にコピーを取ることが行われる⁹⁾。スナップショット機能により、例えばサーバシステムでは、オンライン系のファイルシステム上のデータに対して変更があってもそれに影響されることなく、整合性のあるデータをバックアップすることができるようになる。

本稿では、このスナップショットの概念を 4.1 節で述べた階層型分散データ管理に導入することを提案する。分散データをファイルシステムとして管理し、それをある時刻断面で固定することにより分散スナップショットを作成する。上位からは特定時刻の分散スナップショットにアクセスすることにより、収集する分散データの採取時刻を揃えることが可能になる。また、メータのデータは時々刻々変化し得るが、そのデータと上位からのアクセスを絶縁することも可能となる。これにより、ファイル共有技術で必要とされる整合性維持のメカニズムを不要にでき、軽い実装とできる効果も得られる。

5. 試実装と評価

以上の検討もともに、階層型分散データ管理機能のみを試実装した。さらに、実用化に向けた仮見積もりを行うことにより、実装条件の面から実現性の確認を行う。

5.1. 試実装

4.1 節に示した階層型分散データ管理方法の基本機能を超分散ファイルシステム (MDFS: Massively

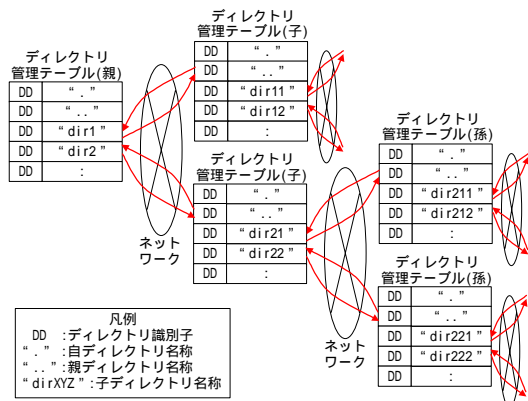


図 4 MDFS による分散データ管理方法

Distributed File System) サーバ相当として試実装した。管理ノード及び情報分電盤上の MDFS サーバによる分散データ管理方法の概要を図 4 に示す。

各 MDFS サーバは、ディレクトリ管理情報を格納するディレクトリ管理テーブルをもつ。これは、自/親/子ディレクトリへのリンクを示すディレクトリ識別子 (DD) とそれらの名称からなる配列である。MDFS サーバの立ち上げ時に親ノードの所在情報 (ホスト名) が与えられ、それをもとに親子間でセッションを確立して、その識別子と名称がそれぞれディレクトリ管理テーブルに設定される。アプリケーションからメータデータが Open されると、アクセスパス上の各管理ノードでは子ディレクトリの名称から子ノードのディレクトリ識別子を求める。メータデータへのアクセスでは、このディレクトリ識別子を使って親子間でデータ転送を行う。それを所望の情報分電盤に到達するまで繰り返す。情報分電盤では、データの論理名称からローカルな実データ (メータ検針値相当) にマッピングを行う。

以上のように、各管理ノードではその親と子へのリンクの管理さえ行えばよく、非常に単純な分散データ管理方法となっており、軽い実装にできる。また、管理ノードと情報分電盤における MDFS は同一構成とできるため、開発効率もよい。

5.2. 基本機能評価

MDFS サーバを PC (Red Hat Linux 8) 上で動作させ、基本動作を確認した。多数の子ノードを管理可能なことを確認するために、各 PC ではマルチ IP により複数の MDFS サーバを動作させて、複数ノードを模擬する。1 台の PC (CPU は Xeon 2GHz) で 500 台の情報分電盤と、各家庭のメータ (電気、ガス、水道の 3 つ) を模擬する。この PC を 2 台と、管理ノードとクライアントを模擬する PC (CPU は Pentium III 1GHz) を 1 台使うことにより、3 台の PC で 1,000 軒分の遠隔検針システムを模擬できることを確認した。ただし今回の評価では、性能に大きく影響すると予想される広域ネットワークの特性が加味されていないため、定性的な評価に留まっており、評価の精度向上が今後の課題のひとつである。

5.3. 実現性の確認

上述のように今回の評価では高性能な PC を使用したが、実用化においては、少なくとも各家庭に置かれる情報分電盤及び電柱上の管理ノードは、小型かつ低コストな組込機器としなければならない。つまり、試評価に使った PC よりはるかに厳しい実装条件でも要求に見合った数の下位ノードを管理できなければならず、本格的な開発の前にその実現性を確認する必要がある。そこで、今回の試評価システ

表 3 実装条件の仮見積もり

管理ノード	電柱ノード		情報分電盤	
	試実装	見積もり	試実装	見積もり
管理数	1,000	50	1,500	10
性能比	20:1		150:1	
CPU 周波数	1GHz	50MHz	2GHz	13MHz
HW 条件	PC	組込 MPU	PC	マイコン

ムを単純にスケーリングすることで、電柱ノードと情報分電盤に必要な条件を仮見積もりすることにした。その結果を表 3 に示す。

電柱ノードについては、今回の評価での管理数(下位ノード数) 1,000 に対して、実システムでは電柱の周辺の家庭 50 軒程度と予想される(性能比 20:1)。つまり、電柱ノードに必要な性能は評価に使った PC の 1/20 と考えられ、50MHz 程度の CPU が必要と見積もられる。このハードウェア条件は、組込用 MPU を使って容易に実現できる。一方、情報分電盤については、評価での管理数 1,500 (メータ 3 個 × 500 軒) に対して、実システムでは各家庭内のメータやセンサ類 10 個程度のデータを管理すると予想される(性能比 150:1)。つまり、情報分電盤に必要な性能も評価に使った PC の 1/150 と考えられ、13MHz 程度の CPU 性能が必要と見積もられる。よって、情報分電盤における遠隔検針機能は、安価なマイコン等を使って、小型かつ低コストに実装できる条件であることがわかる。

6. おわりに

6.1. まとめ

e-Japan 戦略 II と電力自由化で必要とされる大規模な遠隔検針システムを実現するためには、多数の分散データの管理、時刻整合性のとれたデータ収集、軽い実装が課題になる。これらの課題を解決する方法として、階層型分散データ管理と分散スナップショットを提案した。階層型分散データ管理により、多数のデータを実際の物理的な階層構成と同様な構成で論理的に管理できる上、その実装も軽くすることができる。さらに分散スナップショットを導入することにより、時刻整合性のとれたデータを軽い実装でデータにアクセスできるようになる。

以上の提案に加えて、階層型データ管理の基本機能の試実装を通じて、実装条件を仮見積もりすることにより、本技術適用の実現性を確認した。

6.2. 今後の課題

今回は、階層型分散データ管理の基本機能のみを試実装し評価したが、実用化に向けては下記(1)~(3)

に示す機能の開発と評価を行う必要がある。さらに、実システムの構築に向けては、(4)~(6)のような課題がある。今後は、これらについて検討を進め、e-Japan 戦略 II や電力自由化に対応可能な遠隔検針システムを構築するための技術として確立したい。

- (1) 階層型分散データ管理の全機能及び分散スナップショット機能とその一括制御機能。
- (2) アクセス管理、セキュリティ機能。
- (3) 広域ネットワークの帯域、遅延、パケット損失等の影響を加味した性能評価。
- (4) 実用化時の分散データの数と規模を模擬した定量的な評価、特に上位層の性能評価。
- (5) 組織構成や物理構成と、遠隔検針におけるデータ管理の階層構成の最適なマッピングの導出。
- (6) 情報分電盤や各階層用管理ノードの開発と、それ上への本技術の実装。

参考文献

- 1) 内閣府高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部 (IT 戦略本部) : e-Japan 戦略 II (2003)
- 2) 武石礼司 : 電力会社の経営体力, 富士通総研経済研究所研究レポート, No.154 (2003)
- 3) 東京電力 : 「電力自由化」について, TEPCO レポート特別号, pp.9-10 (2002)
- 4) 新保豊 : レガシー公益事業会社の ICT 統合サービス戦略とは? , http://bizplus.nikkei.co.jp/genre/it/rensai/index.cfm?i=i_shimbo08
- 5) 東芝電力・社会システム社 : 水道自動検針システム TOSAMR , <http://www3.toshiba.co.jp/sic/seigyokeiki/tosamr.htm>
- 6) 東洋計器 : りんどうシステム , http://www.toyo-keiki.co.jp/product/system/other/w_rindou/w_rindou.htm
- 7) Sandberg, R., D. Goldberg, S. Kleiman, D. Walsh, B. Lyon, "Design and Implementation of the Sun Network Filesystem," USENIX Conference Proceedings, USENIX Association (1985)
- 8) Microsoft: CIFS: A Common Internet File System, <http://www.microsoft.com/mind/1196/cifs.asp>
- 9) SNIA-J: Dictionary (用語集) , http://www.snia-j.org/dictionary/data/main_s.html