

■ 展望・解説 ■

需要管理と情報通信技術

Load Management and Information Network

福 留 渥*
Atsushi Fukutome



1. はじめに

電力供給の基本は消費者が必要とする時間に必要とする量のエネルギーを、高品質・低コストで供給することである。

一般に、消費者が消費するエネルギー量は時間、天候、季節、生産活動や消費活動の程度等によって絶えず変動して行くものであるが、電力会社ではこれらの変動分も含めてトータルの消費量を予測し、これに見合う供給力の確保を図ることを前提としてきた。

すなわち、需要の大きさは与えられたものとして外生的に取り扱うことを基本として、設備の増強や運用・制御を行ってきた。このことは、エネルギー貯蔵の手段を持たない電気事業にとって極めて厳しく、しかも責任の重い使命である。

しかし、近年になってエネルギー資源の効率的利用の観点から、電力の消費方法や消費時間に何らかの働きかけを行うことによって、電力供給者と消費者を含めたトータルのエネルギー供給・消費システムとしての合理的・効率的な運用を図ろうとする新しい考え方に関心が持たれるようになってきた。

いわゆるロードマネジメントと呼ばれるものがそれである。

一方、近年の情報・通信・制御の分野における技術の進歩と社会への普及には目覚ましいものがあり、通信事業の自由化、INSの実験やCAPTAINサービスが開始される等、社会情勢は高度情報化社会の形成に向けて着実に進展しつつある。

電気事業においてもこれらの技術を積極的に活用すれば、従来は困難であった種々の消費者サービスが技術的に実現可能となる等、マーケットインの立場に立った新しいサービスのあり方について真剣に検討されるようになってきた。

すなわち、当初はどちらかといえばフィロソフィやアイデア的な側面が強かったロードマネジメントも、これを実現するための技術的基盤が整備されつつあり、新しいサービスの一つとして具体的なイメージを議論できそうな段階になりつつある。

しかしながら、一方では需要の調整や制御は電力会社にとって不可侵な領域であって関与すべきものではない、あえて関与できるものであっても、その前提条件としてそれ以外の領域で最大限の経営努力がなされているという、国民的合意が必要であるという意見も正論である。

また、このような需要の調整や制御を実現するためには、面的に拡がって分布している消費者と電力会社を結ぶ情報通信ネットワークの構築が必要となるが、その方法如何によっては膨大な設備投資を必要とするので、情報通信技術の分野でもコスト/ベネフィットの大きな「かべ」をブレイク・スルーして行かないと実現は難しい。

与えられた標題は極めて間口が広く、その現状と将来展望について体系的に説明することはできそうもない。そこで、ここでは電力中央研究所における配電自動化、その中でもカスタマーオートメーションと呼ばれる負荷制御や自動検針に関する研究成果を中心に、同分野における内外の状況を若干おり込んで紹介することにする。

2. ロードマネジメントとは

ロードマネジメントの定義は種々あるようであるが、ここでは「電力消費の形態(主として消費の時間帯)を望ましい方向にシフトすることによって、供給者と消費者の共益を図るための何らかの組織的な働きかけ」と定義する。

具体的な方策としては、

- (1) 直接制御方式：何らかの契約に基づいて、電力会社側から消費者の負荷の使用形態を遠方制御す

* (財)電力中央研究所狛江研究所配電担当室長

る方式。例えば需給調整契約に基づく緊急負荷遮断、温水器や蓄熱冷暖房等深夜電力負荷の制御、我が国には実施例はないが空調機器をサイクリックに制御する方式等

(2) 間接制御方式：季時別料金制度などの導入により、消費者の自主的な判断と努力によって負荷の使用形態や使用量をシフトする方式

があるが、(1)は電気料金面で消費者に何らかの特典があるのが通例で、両者は密接な関係があると考えて良い。

他方では、電力エネルギー供給の高効率化を図るための電力系統自体の制御や管理を行う仕事があり、これを供給マネジメント (Supply Management) と定義すれば、これとロードマネジメントを一体化した総合技術を需給マネジメント (Load Supply Management) あるいは Energy Management) と称することができる。

先述のロードマネジメントを広義に解釈して、需給マネジメントと同じ意味に使う場合もある。

最近話題になっている燃料電池、太陽光発電、貯蔵用バッテリー等の小容量分散電源やコ・ジェネレーションシステムは電気事業用設備、自家用設備いずれの形態も予想される。

これらは従来型の大容量集中電源と巨大電力系統網の計画・運用に大きなインパクトを与える可能性を持っているとともに、狭義のロードマネジメントの観点からも、負荷曲線の平滑化やピーク時における供給力などの面で有力な武器となり得ると考える。

3. ロードマネジメントのための情報通信技術

ロードマネジメントの方策として直接負荷制御方式と料金制度を考慮した間接制御方式があることは前記の通りであるが、これを配電分野におけるハードウェアとして単純化して捉えれば負荷集中制御と自動検針（あるいはWHメータの切替制御）に関連する技術とすることができる。

これらを実現するためには供給者と消費者を結ぶ何らかの情報通信手段を必要とすることになり、いかにして低コスト、高信頼度の情報通信ネットワークを構築するかが重要なポイントとなる。

ロードマネジメント用として検討されている情報通信技術の概要を表1に示す。

各々には一長一短あり、今後とも改良改善を必要とするものが多いので、現時点で最適なものを断定する

表1 ロードマネジメント用の通信制御方式

通信制御方式	概要
時計制御	<ul style="list-style-type: none"> タイマー、スイッチ、停電補償用の電池などからなる。 深夜電力用温水器の制御などに実績がある。 融通性に乏しい。
配電線搬送	<ul style="list-style-type: none"> 配電線そのものを信号伝送路とするもので、リップコントロール方式やその他の種々の方式がある。（詳細は4を参照） 新たに信号伝送路を必要としないこと、電力エネルギーと情報の流れが同じで運用や保守が容易である等の特長がある。 伝送の信頼性が配電系統の構成や負荷の特性によって影響を受け易い。
有線方式	<ul style="list-style-type: none"> いずれかの方式も伝送の信頼性は高いが、コスト的に高価である。
(1) 借用電話線	<ul style="list-style-type: none"> 業務運営と管理上の問題を解決しなければならない。
(2) 専用通信線	<ul style="list-style-type: none"> 電力会社が配電線に添架した専用の通信線によるもので、都市部における線路用開閉器の遠方制御システムなどに実績がある。
(3) 同軸ケーブル、光ケーブル	<ul style="list-style-type: none"> CATVとの併用など大量の情報伝送が可能であるが、多分岐の配電系統に適したシステムを構築するためには、技術改良が必要である。
無線方式	<ul style="list-style-type: none"> 通常は一方方向通信に限られる。 周波数の割当て許可が必要であり、我が国では大規模なシステムには適さないといわれている。

ことはできない。

望ましい方式について筆者なりに整理すると次のようになる。

- (1) 低コストであること。初期コストだけでなく、メンテナンスや設備の異動などに伴うコストも重要な要素であることに注意すべきである。
- (2) 情報伝送の信頼性が所定のレベル以上であること。
- (3) 汎用性、融通性があり、すべての消費者に公平に適用できること（ただし、すべてが同一方式である必要はない。）
- (4) 単純な機能に限定する場合は供給側から消費者側への一方方向伝送でも良いが、自動検針に関連するもの、あるいは消費者側の条件や意思を考慮したフィードバック制御を行うもの等に対しては双方向伝送が必要になる。
- (5) 負荷集中制御等のごとく多数の機器を同時に一斉制御できるとともに、双方向の場合は個々の消費者との個別通信や制御も容易にできる方式であること。
- (6) 供給側の制御指令者が優先的に使用できること。
- (7) 個人情報の秘密保持や外部からの情報通信に対

する干渉・妨害対策が充分に講じられていること。

4. 我が国における配電線搬送方式の現状

配電線運搬方式は種々の秀れた特徴があり、ロードマネジメント用として魅力のある情報伝送技術の一つである。しかし、一口に配電線搬送といっても種々の方式が試みられており、各々に一長一短があって、技術的にも未解決な課題を抱えているものが多い。

このことは、どのような地域（系統や負荷の特性）にも適用でき、ロードマネジメント用として通常考えられている双方向信号伝送（制御に主体をおくときは情報伝送の代わりに、以下では信号伝送と呼ぶことにする）と制御の機能を満足する汎用的な方式は未だ確立されていないことを意味する。

ここでは、当所における研究結果を主体として、配電線搬送方式の現状について述べる。⁽¹⁾

4.1 音声周波電圧信号方式（リップルコントロール方式）

送電線あるいは配電線の3相回路に音声周波帯の電圧信号を注入して、電源端から負荷端の方向に信号伝送する法式である。

深夜電力温水器をはじめとする各種の負荷集中制御システムあるいは時間帯別WHメータのレジスタ切替制御等に使用され、ヨーロッパでは広く普及している。我が国においても約6万台の温水器がタイムスイッチに代わってこの方式により制御されている。

配電用変電所の6kV母線に信号を注入した場合の信号伝送回路は図-1の通りであり（実線矢印部分）、その特徴と概要を以下に示す。

- (1) 信号伝送の範囲：信号周波数、信号レベルを適正に選択することにより、高压配電線から柱上変圧器を通してすべての低压需要端までに信号を伝送することができる。（高低圧配電線下り伝送）
- (2) 信号伝送特性：負荷端に設置されている進相コンデンサの影響を受け易いが、周波数を適正に選べば（50Hz系で283.3Hz、60Hz系で260Hzが多い）、ほぼ安定した伝送特性が得られる。
- (3) 変調方式と伝送速度：負荷集中制御用としては振巾偏移方式（ASK）で伝送速度は数ビット/秒程度である。ただし、自動検針子局の呼び出し用等多目的に利用可能とするための信号伝送の高速化について当所で研究を行い、偶数高調波帯を中心として50Hzの帯域中（60Hz系では60Hz）を設けて周波数偏移方式（FSK）により伝送すれば、

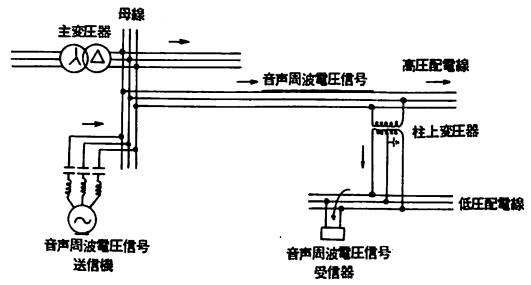


図-1 音声周波電圧信号方式における信号伝送回路

50～60ビット/秒の高信頼度・高速データ伝送が可能であることを確認している。

4.2 音声周波電流信号方式（電流アンサーバック方式）

柱上変圧器の2次側線間に音声周波数帯の電流信号を注入し、負荷端から電源端の方向へ信号伝送する方式であり、当所が開発したものである。

前記の音声周波電圧信号方式と組み合わせることにより、高压配電線に関する双方向の信号伝送が可能で、線路用開閉器の監視制御システム用としてある電力会社で実用に供せられている。

信号伝送回路は図-2の通りで、その特徴と概要を以下に示す。

- (1) 信号伝送の範囲：配電系統において最もインピーダンスの低い地点が配電用変電所であることを利用するもので、高压配電線の負荷端から変電所の当該フィード引出口までの上り方向に信号伝送することができる。（高压配電線上り伝送）
- (2) 信号伝送特性：配電線の作用インダクタンスと負荷端の進相コンデンサにより通常は200～400Hz付近で共振現象がおき、それ以上の周波数では伝送特性が急激に悪くなるが、500Hz（60Hz系では600Hz）以下においては比較的安定した特性が得られる。
- (3) 変調方式と伝送速度：FSK方式の採用により50～60ビット/秒の伝送が可能になる。周波数は375/425Hzまたは475/525Hz（60Hz系では450

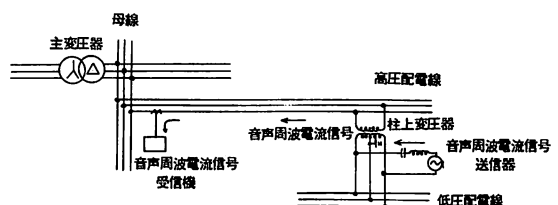


図-2 音声周波電流信号方式における信号伝送回路

/510Hzまたは570/630Hz)が多い。

4.3 大地帰路方式

この方式は配電線の1線と大地間あるいは3線1括と大地間(零相回路)に信号を注入するものであり、電源端と負荷端の間の双方向通信が可能であるが、伝送路は高圧配電線に限られる。

5kHz~10数kHzの高周波信号を使用することにより、伝送速度は数百ビット/秒が可能、我が国では線路用開閉器の監視制御システムとして実用に供せられている。

4.4 低圧配電線の信号伝送方式

高低圧配電線を1括して双方向信号伝送を行うためには、高圧配電線用と低圧配電線用の信号伝送方式を柱上変圧器端で中継することになる。

低圧配電線用の信号伝送は、伝送距離が短いものの送受信器の数量が膨大になるので、この小型化と低コスト化が特に重要になってくる。

数kHz~数十kHzの高周波連続信号を使用する高周波信号方式と過渡的なパルス信号を使用する位相パルス信号方式がある。両者には共通する所が多いのでここでは後者について説明する。

- (1) 信号の発生方法と信号伝送の範囲：低圧配電線に沿った双方向伝送が可能である。パルス発生の原理は、商用周波電源電圧の任意の位相でSCRを制御することにより、予め充電されていたコンデンサの電荷を放電させて高周波振動を得るものである。
- (2) 符号方式と伝送速度：商用周波の1サイクルを時分割してパルスを重畳すれば高速化が可能であり、たとえば雑音の少ない位相 0° と 180° の附近 $\pm 36^\circ$ を20チャンネルに分割すれば、理論上は2000~2400ビット/秒の伝送速度が得られる。
- (3) 伝送の信頼性：伝送の特性ならびに信号周波数が負荷インピーダンスの変動によって左右されることの他に、位相制御を行う機器等から発生するパルス性雑音に注意する必要がある。実測結果によれば通常のケースではビット誤り率は 10^{-4} 以下であり、これに多重連送方式や最近開発された波形検定方式などを採用することによって、実用に供し得るレベルに達し得るといわれている。

5. 配電システムトータルオートメーション用光伝送情報伝送システムの構想⁽²⁾

当所では、前記の配電線搬送方式のほかに、ロード

マネジメントを中心としたカスタマ・オートメーションとサブライマネジメント用のフィードオートメーションを統合した配電システムトータルオートメーションシステムTOMEDAS (Total Optical Micro-Electrical Distribution Automation System) の実現に向けて研究を進めている。これに適用する光ファイバを主体とした情報伝送システムの概念図を図-3に示す。同図において、

幹線系：親局と中継局間を1:Nで結び、フィード・オートメーションとカスタマ・オートメーション用の情報を伝送。

伝送速度は 4 Mビット/秒クラス

分配系：中継局と消費者を結び、カスタマ・オートメーション用の情報を伝送。できるだけ多分岐型とし、伝送速度は9600ビット/秒クラス

中継局：カスタマ・オートメーション用の情報を圧縮・加工し、高速の幹線系と結合、200~300軒の消費者を1グループとし、開閉器の遠制御子局に内蔵する。

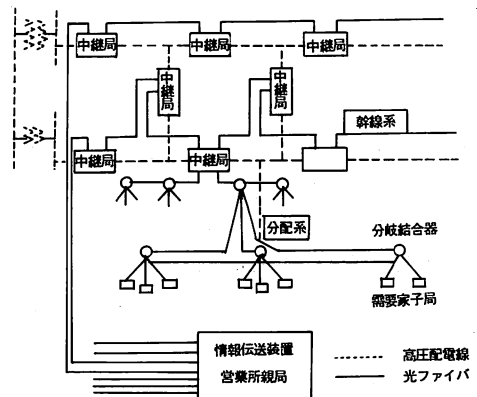


図-3 光ファイバを主体としたTOMEDAS用情報伝送システム

6. ロードマネジメントに必要な基本的機能・情報量と伝送速度⁽¹⁾

ロードマネジメント用として必要な基本的機能として、負荷制御、自動検針、負荷の使用状態の把握(ロードサーベイ)、線路用開閉器の切替制御を想定し、処理されるべき情報量と処理時間について考察してみる。

想定したシステムの規模は配電用変電所10、フィード数150、配電用変圧器数24000、契約口数30万口程度の事業所を対象とするもので、検討結果を表2に示

表2 機能別に見た伝送速度と伝送時間

機 能		伝 送 速 度			
		(a) 5 ビット/秒	(b) 50 ビット/秒	(c) 200 ビット/秒	(d) 2,000 ビット/秒
負 荷 制 御		50秒/回	5秒/回	1.2秒/回	0.12秒/回
自 動 開 閉 器 制 御		60秒/操作	6秒/操作	1.5秒/操作	0.15秒/操作
自 動 開 閉 器 の 常 時 監 視		14分/サイクル	1.4分/サイクル	50秒/サイクル	5秒/サイクル
全 開 閉 器 の 常 時 監 視		—	13分/サイクル	8分/サイクル	50秒/サイクル
自 動 検 針		△80時間/月	8時間/月	5時間/月	1時間/月
高 圧 需 要 家 の ロ ー ド サ ー ベ ィ	ピーク負荷と負荷率	2時間/日	12分/日	8分/日	45秒/日
	(注1) 時間帯別負荷……(1)	△5.5時間/日	33分/日	21分/日	2.1分/日
	(注2) 時間帯別負荷……(2)	×20時間/日	8分/時間	5分/時間	30秒/時間
配 電 用 変 圧 器 の ロ ー ド サ ー ベ ィ	ピーク負荷と負荷率	—	2時間/日	1.2時間/日	7分/日
	(注1) 時間帯別負荷……(1)	—	△5.3時間/日	3.3時間/日	20分/日
	(注2) 時間帯別負荷……(2)	—	—	×46分/時間	4.6分/時間
低 圧 需 要 家 の ロ ー ド サ ー ベ ィ	ピーク負荷と負荷率	—	—	×11時間/日	1.5時間/日
	(注1) 時間帯別負荷……(1)	—	—	—	△4.1時間/日
	(注2) 時間帯別負荷……(2)	—	—	—	×58分/時間
備 考		バンク単位の 並列伝送 負荷端中継局 アリ	バンク単位の 並列伝送 負荷端中継局 アリ	変電所単位の 並列伝送 負荷端中継局 アリ	変電所単位の 並列伝送 負荷端中継局 ナシ

(注1) 前日24時間分を1括伝送

(注2) 時間帯別負荷オンライン伝送

△ 電源端中継局と営業所間を通信線で伝送すると仮定し、伝送速度が2,000ビット/秒程度では困難

× 割り当て時間から見て困難

す。

同表から、

- (1) 負荷制御は数グループに分割し、グループ毎に2回制御信号を送信して一斉制御を行うことを条件に、5ビット/秒クラスでも1グループの制御を1分以内に行うことができる。制御内容としては深夜電力負荷の制御、空調負荷の制御、多重料金用WHメータの切替制御などが可能である。
- (2) 50ビット/秒程度あれば、機能毎の伝送割当て時間を適正に配分することにより、負荷制御、開閉器の制御、自動検針、高圧電力契約者のロードサーベイ、配電用変圧器の簡易なロードサーベイ（ピーク負荷と日負荷率の把握）が可能となる。
- (3) 配電用変圧器の時間帯別ロードサーベイを行うためには2000ビット/秒クラスが必要になり、全ての電灯・動力契約者のロードサーベイを行うには更に数倍の伝送速度がいることになる。

7. 我が国における負荷制御・自動検針システムの現状⁽⁴⁾

負荷集中制御システム：リップルコントロール方式を主体とした負荷集中システムが実用化されており、受信器台数は約6万台と推定される。制御対象は深夜

電力用温水器が主体で、その他に外灯等がある。

空調の間欠制御についても試行的に検討された例はあるが、実用化までには到っていない。

自動検針システム：約1000台の子局について実用化のための実証試験がなされているが、法制面での整備が必要なおもあって取引用としては実用化されていない。

試験中のシステムに適用されている情報伝送方式には種々のものがあるが、代表的な形態としては次の2つが考えられている。

- (1) 配電線搬送方式：高低圧配電線とも配電線搬送を使用するもので、例えばリップル・電流アンサー+位相パルス方式、大地帰路+高周波信号方式等がある。
- (2) 有線+低圧配電線搬送方式：高圧沿いは専用通信線とするが、数量が膨大となる引込線以降は配電線搬送方式とする方法（ただし、搬送用送受信中継器は柱上変圧器単位で設置される。）

なお最近では、光ファイバやベアケーブル等の通信線による低圧消費者用の自動検針・負荷制御システムについても、研究が活発に行われている状況にある。

多機能電子メータの開発⁽³⁾

我が国においても季時別料金制の本格的な導入につ

いて種々の議論がなされるようになったが、多様な料金制に応じた計量、自動検針、負荷制御等のロードマネジメント基本機能を低コストで実現させるためのキーポイントは、WHメータの多機能インテリジェント化である。

当所においても、3区分の季時別料金制に対応でき、負荷制御や自動検針端末との一体化が容易に可能なオールデジタル型多機能電子メータを開発中である。

8. 諸外国における研究状況

米国：ロードマネジメントに関する研究は非常に活発である。その特徴は、

- (1) 負荷制御だけでなく、種々の電気料金制の試み、冷熱・温熱貯蔵技術、電気と化石燃料併用の暖房システム、建物の断熱や負荷機器の効率向上等、多面的な研究が行われている。
- (2) 通信制御技術は VHF・無線が79%（被制御点数の比率）、リップルが7%、その他の配電線搬送方式14%で、その他にケーブルTV、電話、TWACS、放送波と多様である。

ヨーロッパ：特に大陸側諸国ではリップルコントロールによる負荷制御とWHメータの切替制御が非常に普及しており、単方向伝送で充分であるという考えが伝統的に強い。最近になってWHメータの電子化に関心が高まっており、双方向伝送による自動検針も少しづつではあるが検討されつつある。

英国では最近ロードマネジメントに関連してCALMS (Credit and Load Management System) が開発され注目を集めている。このシステムはCAL

MUと呼ばれる消費者端末と双方向伝送系（電話線、無線、有線ケーブル、配電線搬送等いずれも可）からなり、その機能は計量、自動検針、ロードサーベイ、負荷制御、電圧・力率・過負荷・漏電の監視、料金の遠隔支払い等多岐にわたると報告されている。

9. おわりに

我が国におけるロードマネジメントの研究は始まったばかりの段階である。電力供給者と消費者いずれにとってもメリットあるものとするためには、種々の課題を解決しなければならず、今後の研究によるところが大きい。ここでは情報伝送技術の記述に大半を費やす形となったが、これ以外にも重要な課題としては、

- (1) 多機能電子メータ等消費者端末装置のインテリジェント化とコストダウン、(2) 直接負荷制御だけでなく、消費者も意思決定に参加できる分散型制御方式（ホームオートメーション）、(3) 電気や熱の形でエネルギーを貯蔵できる簡易で低コストのシステム（ロードコンディショナー）、(4) 多様な料金制度さらにはこれに応じて種々の品質を持つ電力供給の方式（マルチ・メニューシステム）等が考えられる。本文が関係各位の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 電中研報告；配電線における信号伝送特性の解明と配電線搬送方式の設計手法
- 2) 同；高度情報化応用技術による配電総合自動化システムの開発（その1）
- 3) 同；一般家庭用多機能電子メータの開発
- 4) 配電自動化方式，電気協同研究，36巻，5号

