

分散型電源によるマイクログリッドシステムの開発（その1）

—— 小規模実験システムによる負荷追従制御技術の開発 ——

森野 仁夫 沼田 茂生 傳田 篤
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所)

Research and Development of a Micro-Grid System Using Distributed Power Supplies (Part1)

—— Development of Load Follow-up Control Technology by a Small Experiment System ——

by Kimio Morino, Shigeo Numata and Atsushi Denda

Abstract

We constructed a small-scale micro-grid test bed consisting of four kinds of distributed power supplies, a micro gas turbine, a gas engine, a lead acid battery, and photovoltaic cells. The bed was constructed in an experimental building of the institute of technology. With the goal of developing a micro-grid system that can coordinate with existing power systems, we developed load follow-up control technology using multiple distributed power supplies.

During research and development, we measured the frequency response characteristics of the active power of each distributed power supply by means of sinusoidal power references and clarified their load follow-up characteristics. In addition, we performed load follow-up control experiments by using a true active power load with two kinds of control methods. We achieved purchase power constant control at the connecting point of the micro-grid, and achieved the power current control target, $\pm 3\%$ the same amount simultaneously for three minutes.

概要

技術研究所の実験棟を対象に、マイクロガスタービン、ガスエンジン、鉛蓄電池、太陽光発電の4種の分散型電源からなる小規模なマイクログリッド試験設備を構築し、既存の電力系統と協調性をもったマイクログリッドシステムの実現を目指して、複数分散型電源による負荷追従制御技術の開発を行った。

開発では、分散型電源の有効電力の周波数応答特性を計測し、各分散型電源の負荷追従特性を明らかにした。また、2種類の制御方法によって、実負荷を対象とした有効電力の負荷追従制御実験を行い、連系点における買電電力一定制御を実現し、連系点の電力潮流に関して3分間同時同量 $\pm 3\%$ の制御目標を達成した。

§ 1 . はじめに

近年、京都議定書の発効によるCO₂排出量削減の社会的な要求を背景として、再生可能エネルギーを始めとする分散型電源の導入が積極的に推進されている。わが国では、2010年度に一次エネルギーに占める新エネルギーの割合を3%にまで高める計画を進めており、このためには、太陽光発電や風力発電を2002年実績のそれぞれ7.6倍、6.5倍導入する必要がある。今後、このような新エネルギーの導入が進むと、太陽光発電や風力発電などの人為的に制御できない電源による出力変動の増大が、既存の電力供給系統に与える影響が

大きくなり、電力の安定供給や電力品質の維持に関して社会的な問題になってくることが予想されている。

また、一方では、電力自由化の動きを背景に、ある限られた地域に複数の分散型電源を設置し、これらを既存の電力系統と協調して運用することにより、地域内の電力負荷や熱負荷を効率的かつ自立的に供給するマイクログリッドという概念も提唱されている。

我々は、技術研究所の実験棟を対象に小規模なマイクログリッド試験設備を構築し、複数の分散型電源による負荷変動補償によって、既存の電力系統と協調性をもったマイクログリッドシステムの実現を目指した技術開発を行ったので、その成果を報告する。

§ 2 . 開発の目的

再生可能エネルギーのうち太陽光発電や風力発電などの自然エネルギーによる発電は、その出力が自然まかせで変動するため、既存の電力系統にとっては外乱として働き、制御が困難な負荷の一種とみなすことが出来る。技術研究所の中央実験棟屋上に設置した太陽光発電装置（最大出力 10 kW）の発電電力の一日の変動状況を図 - 1 に示すが、日射量の変化によって出力が短時間で大きく変化していることが分かる。

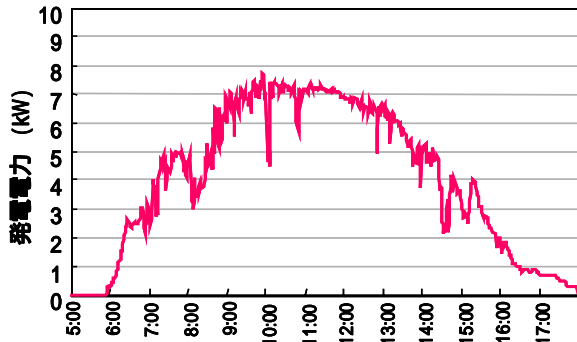


図 - 1 太陽光発電の出力の例

また、熱電併給（コ・ジェネレーション）が可能なガスエンジン（GE）やガスタービン（GT）などの発電機は、一般的には、省コスト・高効率運転を志向するため、図 - 2 に示すような一定出力で運転を行うベースロード運転か、契約電力を低減する対策としてのピークカット運転を行なうことが多い。GE、GTなどの分散型電源が、このような運転形態で発電を行なう場合、負荷変動部分の発電はすべて連系する既存の電力系統が負担することになり、負荷変動によって生じる電圧や周波数の変動を一定範囲の規定値に維持する調整努力、いわゆるアンシラリーサービスは既存の電力系統に依存することになる。

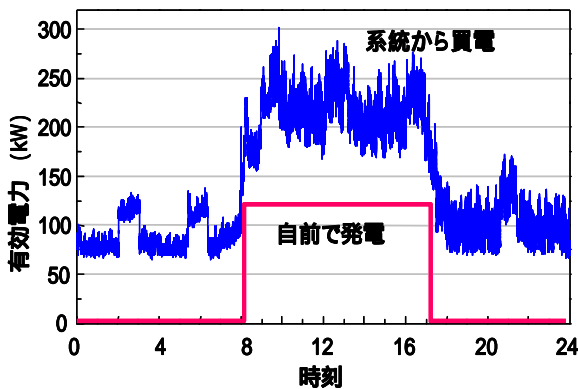


図 - 2 一般的な GE、GT の運転形態

このような形態で自然エネルギー電源やコ・ジェネレーションなどの分散型電源の導入が拡大すると、既存の電力系統にとっては供給電力に占める変動負荷の

割合が増加するため、アンシラリーサービスが大きな負担となり、しいては、自然エネルギーやコ・ジェネレーションの導入に制限が加えられることも予想される。

本開発では、図 - 3 に示すように、従来、既存の電力系統に依存していた負荷調整を自分たちで行い、既存の電力系統からは一定電力を購入しようというもので、これによって、既存の電力系統と協調性を持ったマイクログリッドを構築することが可能となる。

本研究では、このような自然エネルギーの出力変動や電力負荷の変動を、複数の分散型電源の特性を考慮した負荷変動制御によって補償し、コ・ジェネレーションの有する総合エネルギー効率を維持しながら、既存の電力系統と協調性を持ったマイクログリッドの構築を実現することを目的として、そのコア技術となる分散型電源負荷追従制御システムの開発を行った。

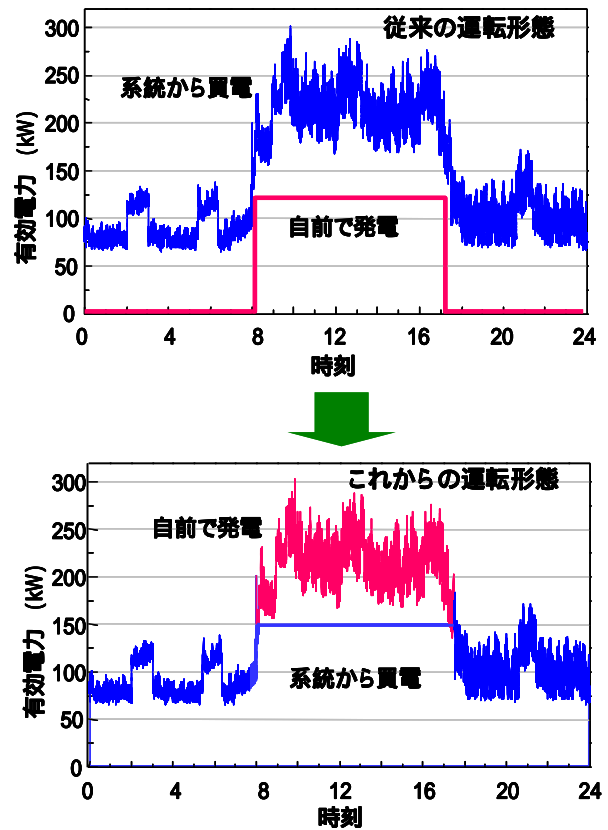


図 - 3 負荷追従運転による電力供給

§ 3 . 開発目標の設定

本開発においては、負荷追従制御システムの開発目標を「連系点での受電電力（買電電力）を一定とすること」と設定した。現在、特定規模電気事業（PPS）では、送電で既存の系統を利用する場合、顧客の電力需要量と発電による電力供給量を 30 分間で $\pm 3\%$ の範囲で同時同量とする規定がある。

本開発では、この規定に準じて、図 - 4 に示すように、マイクログリッドの連系点における受電量と送電量を3分間で±3%の範囲で同時同量とすることを、数値目標として設定した。

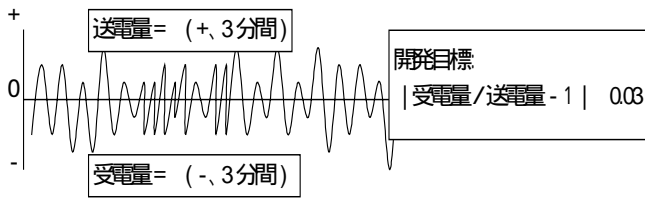


図 - 4 3分間±3%同時同量の概念

§ 4 . マイクログリッドの構成

実験設備として構築した小規模マイクログリッド試験設備の構成図を図 - 5 に示す。

分散型電源としては、マイクロガスタービン (MGT)、ガスエンジン (GE)、鉛蓄電池 (BTR)、太陽光発電 (PV) の4機種を選定した。分散型電源は全て市販品を利用している。

これらの分散型電源は、PVは中央実験棟の屋上に設置し、その他の電源は大型実験棟の内部に設置し、図 - 5 に示すように、中央実験棟の一般動力負荷と実験動力負荷のどちらかを選択できるようにして、低圧 (三相 210V) で連系した。一般動力負荷は空調機、エレベーター、冷凍機などの負荷で構成されている。

実験装置として選定した各分散型電源は、表 - 1 に示すように、それぞれ異なった運転特性を持っており、MGT は負荷変動への追従が遅く一定出力運転に向いており、GE は数分程度の変動に追従可能で、BTR は秒オーダーの変動に追従することができ、太陽光発電の出力は人為的に制御することが出来ない。

MGTの定格出力は27kW (吸気温度 15 の場合) であるが、吸気温度に大きく依存し、吸気温度が 30 の場合は補機動力による自己消費も含めて約20kWとなる。GEの定格出力も22kWであるが補機動力による自己消費で約20kWになる。

マイクログリッドを構成する各分散型電源の外観と設置状況を写真 - 1 ~ 写真 - 3 に、機器仕様を表 - 2 ~ 表 - 5 に示す。

なお、他の分散型電源として、燃料電池、バイオ燃料発電機、風力発電などの導入も検討したが、それぞれ、負荷調整電源としては不向きなこと、燃料確保に難点があること、導入可能量が制限される事などの理由で、今回の実験では導入を見送った。

表 - 1 各分散型電源の運転特性

機種	定格出力	運転特性
マイクロガスタービン	27 kW	定格での一定出力運転
ガスエンジン	22 kW	緩やかな負荷変動に対応
鉛蓄電池	20 kW	緩やかな負荷変動に対応しながら急峻な負荷変動にも対応可能
太陽光発電	10 kW	出力は天候次第 (制御不能)

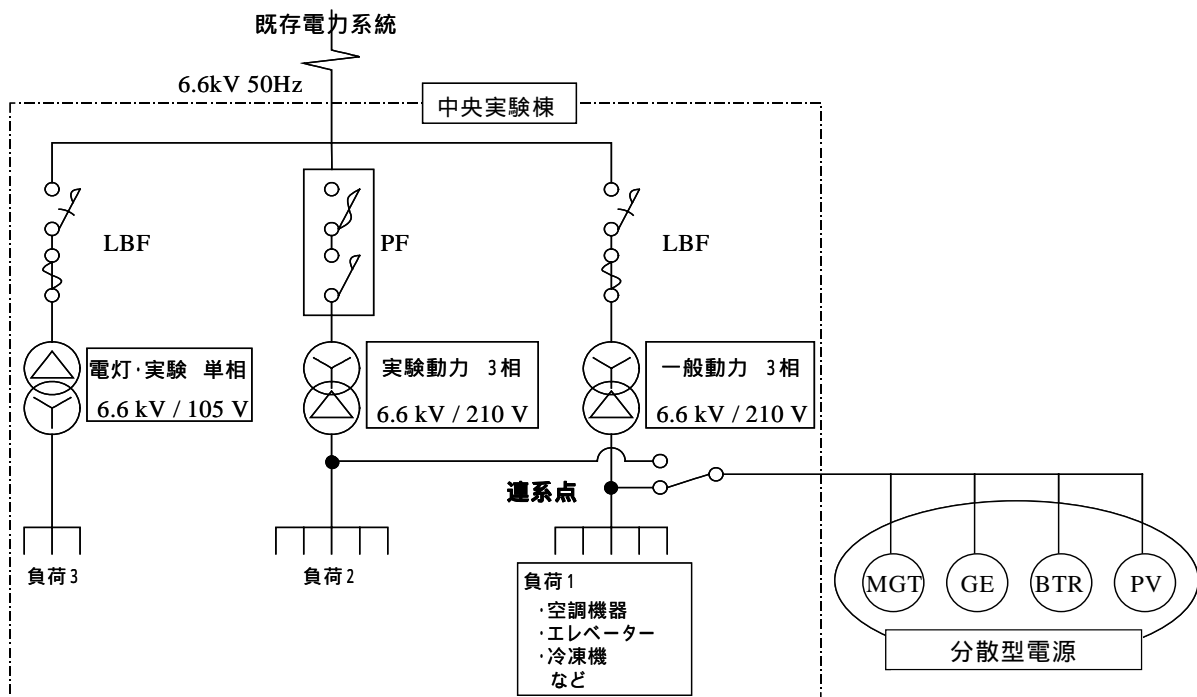


図 - 5 マイクログリッドの構成



写真 - 1 GE (左) と MGT (右)



写真 - 2 大型実験棟への MGT (奥)、GE (左)、BTR (右) の設置状況



写真 - 3 中央実験棟屋上の太陽光発電装置

表 - 5 鉛蓄電池の機器仕様

株式会社ユーソーホレーション ピークカット用電源装置		
交流出力	系統連系方式	インバータ連系式
	相数・線数	三相3線式
	定格容量	20 kW
	最大追従速度	20 kW/sec
	連系点電圧	200 V
	力率	> 95%
	DC-AC 効率	90%
蓄電池	種類	制御弁式据置鉛蓄電池
	定格容量	270(10時間率)Ah
	総公称電圧	288(144セル)V

表 - 2 マイクロガスタービンの機器仕様

株明電舎 27kW マイクロガスタービン		
発電機	系統連系方式	インバータ連系式
	相数・線数	三相3線式
	出力	27 kW
	電圧	210 V
エンジン	力率	100 %
	排気ガス温度	275 °C
	NOX 濃度	< 9 ppm
	燃料ガス	都市ガス 13A
熱回収	燃料ガス消費量	10.1 Nm ³ /h
	排熱回収量	54.7 kW
効率	温水温度 入一出	80→90(Δt=10) °C
	発電効率	23.9 %
	熱回収率	47.8 %
その他	総合効率	71.7 %
	重量	1,450 kg
	運転音	62(機側 1m) dB(A)

表 - 3 ガスエンジンの機器仕様

ヤンマー(株) 22kW ガスエンジン		
発電機	系統連系方式	インバータ連系式
	相数・線数	三相3線式
	出力	22 kW
	電圧	200 V
エンジン	力率	100 %
	NOX 対応	リーンバーン方式
	燃料ガス	都市ガス 13A
熱回収	燃料ガス消費量	78.6 kW
	排熱回収量	44.8 (161.3) kW (MJ/h)
効率	温水温度 入一出	70→75(Δt=5) °C
	発電効率	28.0 %
	熱回収率	57.0 %
その他	総合効率	85.0 %
	重量	1,420 kg
	運転音	62(機側 1m) dB(A)

表 - 4 太陽光発電装置の機器仕様

シャープ(株) 10kW 太陽光発電装置		
モジュール	系統連系方式	インバータ連系式
	システム容量	10 kW
	型式	NDQ7A1K
	セル種類	多結晶
	最大出力	167 W
アレイ	パネル外形寸法	1323 x 1004 x 46 mm
	パネル重量	16.5 kg
	構成	15 直列 4 並列
設置状況	モジュール数	60 枚数
	最大出力	10 kWp
	場所	中央実験棟屋上
インバータ	方位	南東(南から 35°)
	仰角	20 deg.
	メーカー	日本電池
	型式	LBS-T3

§ 5. 分散型電源の周波数応答特性の計測

5.1 中央実験棟の負荷プロファイル

中央実験棟の夏期と冬期における電力負荷の代表的な1日24時間のプロファイルを、2秒ごとに計測した結果を図-6に示す¹⁾。

中央実験棟における電力負荷は、絶対値としては夏の方が冬より大きいですが、その変動は、双方とも、OA機器や照明の使用による夜間に小さく日中になる日周期の大きな負荷変動がベースとしてあり、これに空調機器やポンプなどの機器が運転/停止されることに伴う時間オーダーあるいは分オーダーの変動と、エレベータの発停などに伴う秒オーダーの急速な負荷変動が重畳して形成されている。

マイクログリッドのシステム設計においては、このような時間オーダーから秒オーダーの電力負荷の変動に対して、経済性や電力品質などの点を考慮して、どのような分散型電源を、どのように対応させるかを、検討することが必要となる。

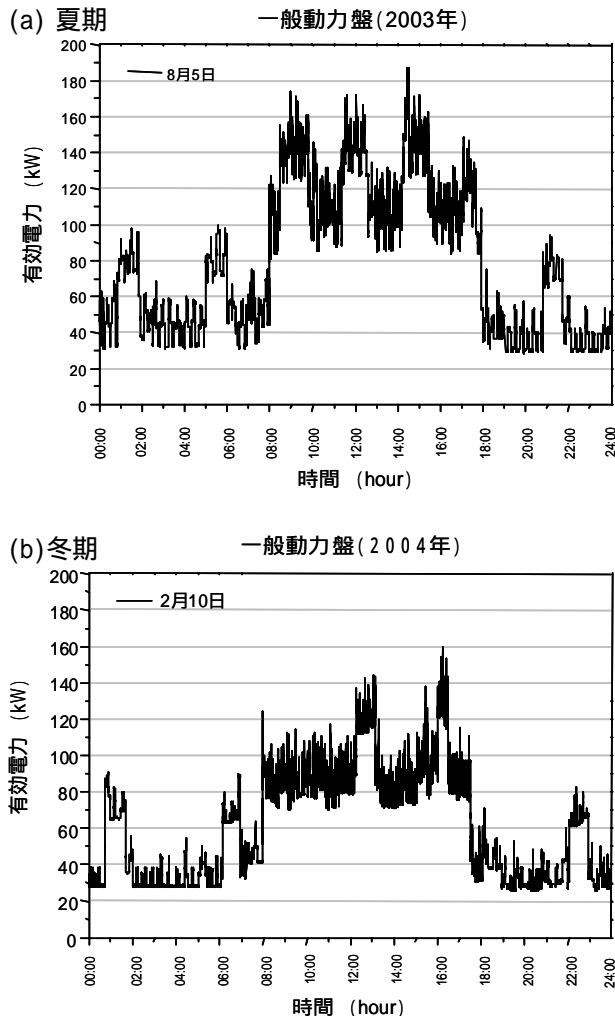


図-6 中央実験棟の電力負荷

5.2 周波数応答特性の計測方法

5.1で述べた中央実験棟の電力負荷のプロファイルに対して、負荷追従制御における各分散型電源の制御負担を定量的に設定するため、各分散型電源の周波数応答特性を計測した。

周波数応答の計測では、各分散型電源に、図-7に示すような振幅を最大出力と最低出力の間とした正弦波の有効電力指令値を入力として与え、その周波数を随時変更して、これに対する応答としての出力と位相を計測した。図-8には有効電力指令値に対する周波数応答の計測例を示す。

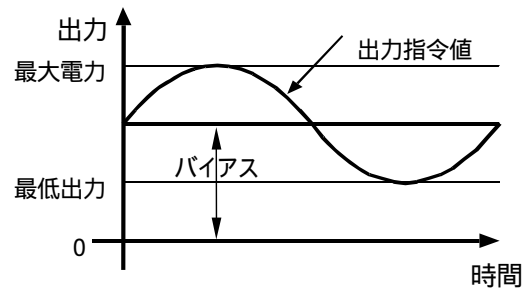


図-7 有効電力の指令値

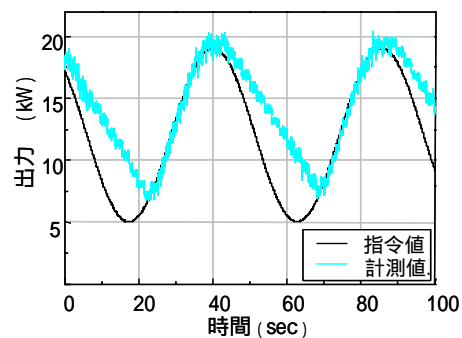


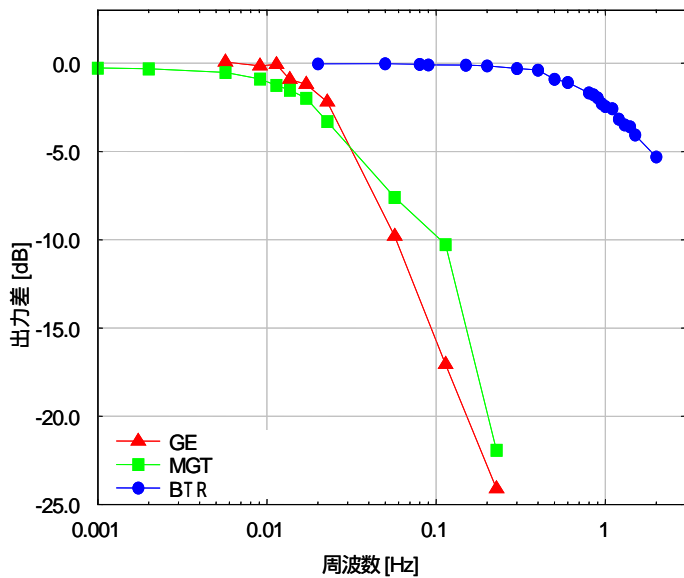
図-8 周波数応答特性の計測例

5.3 各分散型電源の周波数応答特性

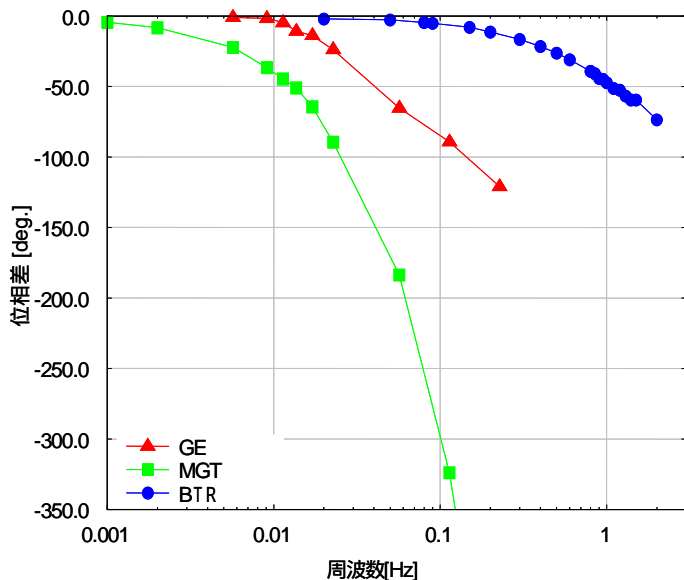
各分散型電源の周波数応答特性の計測結果を図-9(a)図-9(b)のボード線図に示す²⁾。図-9において縦軸は、入力値に対する出力値の相対的な出力および位相の差を表しており、0(ゼロ)が入力と出力が一致していることを示している。

図-9(a)において出力特性を見ると、BTRでは数秒程度(1/0.4Hz)の負荷変動に追従可能で、GEとMG Tは100秒程度(1/0.01Hz)の負荷変動に追従可能であることが分かる。

一方、図-9(b)において位相特性を見ると、BTRとGEでは、それぞれ出力特性と同程度の数秒および100秒程度まで位相の遅れが見られないが、MG Tでは100秒程度(1/0.01Hz)以下で大きな位相の遅れが生じている。



(a) 出力特性



(b) 位相特性

図 - 9 分散型電源の周波数応答特性試験結果

図 - 9 (b)より、MGTは1,000秒(1/0.001Hz)以下の時間での負荷変動に対する追従は困難であり、実用上は10数分オーダーの負荷変動に追従するのが限界であるものと判断される。

各分散型電源の周波数応答特性の計測結果を基にして、負荷追従制御で採用した各分散型電源の負荷変動に対する追従性能を表 - 6にまとめて示す。

表 - 6 分散型電源の負荷変動に対する追従性能

項目	鉛蓄電池 (BTR)	ガスエンジン (GE)	マイクロガスタービン (MGT)
出力	1 ~ 数秒	100 秒	100 秒
位相	1 ~ 数秒	100 秒	1000 秒
総合	1 ~ 数秒	1~2 分	15 分

§ 6. 分散型電源による負荷追従制御実験

中央実験棟の電力負荷変動を対象として、図 - 5に示す実験システムの構成において、連系点での買電電力(有効電力)を一定として、中央実験棟へ電力供給を行う負荷追従制御実験を行った。実験のイメージを図 - 10に示す。

負荷追従制御実験で使用した計測制御システムの構成を図 - 11に示す。計測制御システムは、LabVIEW Real Time モジュール (RTM:PXI-1042) を中心に構築した。ホストPC (IBM A50) は、LabVIEW 7.1 によってRTMの起動/停止を行い、計測制御システムの各種パラメータの入力や設定変更などを行なう機能を有している。

RTMから各分散型電源への起動/停止や出力指令、各分散型電源からRTMへの運転情報などは現場に設置されたPLCを介して計測制御用LANにて伝送される。また、急峻な負荷変動への対応を行うため、瞬間的な計測値の伝送が必要なBTRに対しては連系点電力がアナログ信号線で渡されている。



図 - 10 実験システムの構成

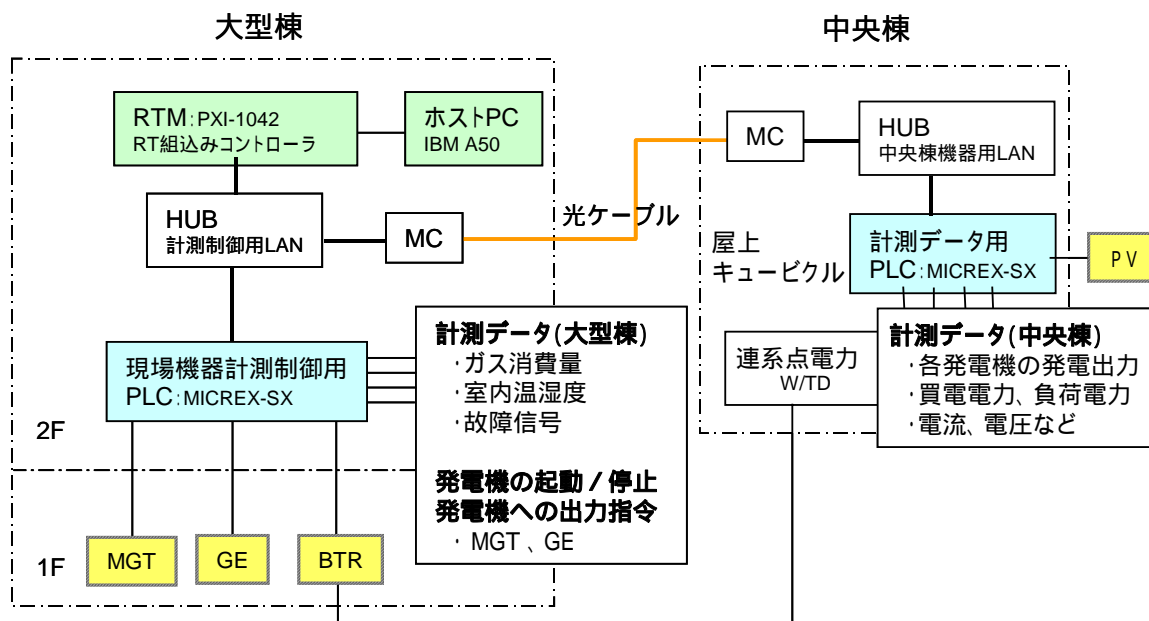


図 - 11 計測制御システムの構成

各発電機の発電出力や負荷電力、買電電力などの計測は、中央実験棟の屋上キュービクル内に設置された計測器で行われ、PLCとLANを介して光ケーブルで大型棟のRTMへ送られる。

負荷追従制御システムの開発過程では、いくつかの制御方法が開発され、実験的にその性能を確認した。

ここでは、

分散型電源の運転特性を考慮した負荷追従制御

分散型電源の周波数応答特性による負荷追従制御

の2つの制御方法を実施した結果を示す。

6.1 分散型電源の運転特性を考慮した負荷追従制御

本制御方法の基本的な考え方は、経済性の観点からMGTを出来るだけ定格出力で運転し、残りの負荷のうち緩やかな負荷変動への追従はGEが分担し、急峻な負荷変動とMGT、GEで取りきれない負荷についてBTRが対応する方針とした。

負荷追従制御に実装した制御アルゴリズムを表-7に示す。ここにおいて、MGTの発電出力は外気温の影響を受けるので、近似式で外気温度特性を表現した。また、GTMAX、GEMAXはそれぞれMGTとGEの最大出力を表している。MGT、GEの運転継続時の発電出力下限値は、それぞれ5kWとした。

今回の実験で用いた計測制御システムでは、出力指令の信号をLANを用いて行なうため、1秒程度の急峻な負荷変動に対して能動的な制御を行うことができない。このため、BTRは連系点(ここを既存電力系統からの受電点とみなしている)の電力を計測して、これと買電目標値との差分を出力するローカル制御で

対応するようにした。

すなわち、能動的な制御はGTとGEに対して行い、BTRはローカルで反応させた。PVの出力は人為的に制御ができないため実質的には負荷となっている。

制御システムでは、データのサンプリング間隔を100msec 10secの間で、制御周期を1秒-10分の間で、それぞれ任意に変更できるようにした。また、制御目標となるDG発電量は1秒-10分の間で任意の時間の移動平均値を採用できるようにした。

負荷追従制御実験では、これらのパラメータを変更しながら制御性を確認する実験を行った。

2005年5月18日に行った実験における電力の変動状況を1秒ごとに計測した結果を図-12に示す。また、図-12のうち各分散型電源の出力変化を図-13に示す。このときの制御周期は10秒で、DG発電量の移動平均は15秒とした。

表 - 7 制御アルゴリズム

```

LbN1  DG発電量 < 0
      GT出力 = 0.0、GE出力 = 0.0
      DG発電量 = 負荷電力 - 買電目標値 - PV出力
      GTMAX = OT2 * a + OT * b + c (OT: 外気温度 a,b,c: 機器係数)
      If DG発電量 < 0 then goto LbN1
      If GEMAX > = DG発電量 then GE出力 = DG発電量
        , GT出力 = 0.0
        if GE出力 < GE下限値 then GE出力 = GE下限値
      If GEMAX < DG発電量 and GTMAX < = DG発電量
        then GT出力 = GTMAX、GE出力 = DG発電量 - GT出力
      If GE出力 < GE下限値 then GE出力 = GE下限値
        , GT出力 = DG発電量 - GE下限値
      If GEMAX < DG発電量 and GTMAX > = DG発電量
        then GE出力 = DG発電量 - GT下限値、GT出力 = GT下限値
  
```

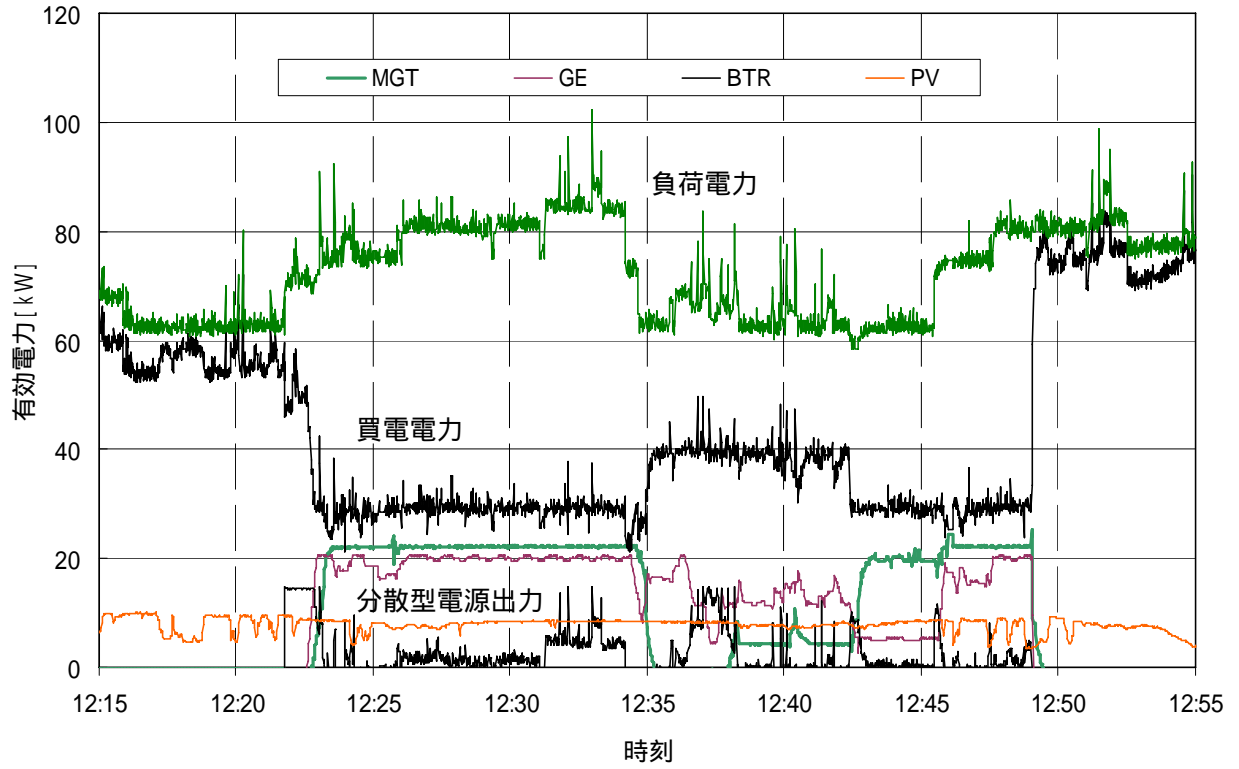


図 - 12 負荷追従制御実験における各電力の変化

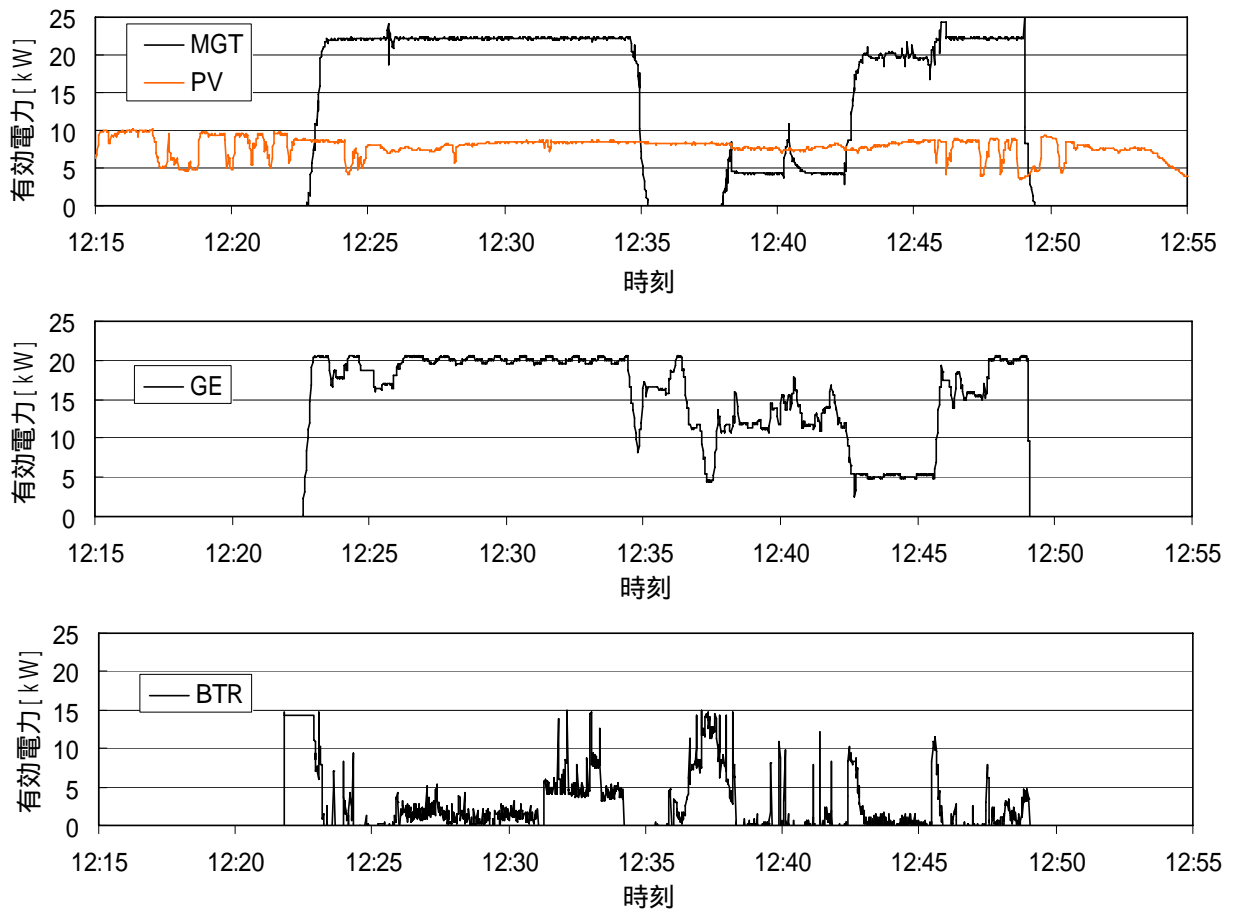


図 - 13 各分散型電源の出力変化

この日は晴天でPVがほぼ連続的に発電しており、図-12の非制御時(12:15~12:22、12:49~12:55)の負荷電力と買電電力との差は、これに起因している。

負荷追従制御実験は12:22から12:49までの約30分間行われ、この間、ステップ上に变化した買電目標値に対して、買電電力がほぼ一定に維持されていることが分かる。

図-12において電力変動の状況を詳細に見ると、12:22の実験開始とともに、立ち上がり早いBTRが反応し14.4kWで70秒弱の間放電を行っている。BTRの放電とともに買電電力が同量低下しているが、この間、MGTやGEが立ち上がる前に負荷電力が増加したため、買電電力は一時的に増加している状況が見られる。

GEとMGTの立ち上がりは制御開始時に起動指令が出されてから、それぞれ50秒後、60秒後で、定格出力の確立までにはさらにそれぞれ20秒、30秒を要している。この間、GEとMGTの出力が徐々に増加するとともに買電電力は徐々に減少し、GEとMGTの出力が一定となった時点(12:23)で、買電電力が目標値の30kWに達している。

その後、負荷電力は12:34まで増減を繰り返しながら次第に増加しているが、この間、買電電力は買電目標値の30kWをほぼ維持している。この間の各分散型電源の出力を見ると、MGTはほぼ一定出力で運転されており、GEとBTRが比較的緩やかな負荷変動に対応して負荷追従運転を行っている。負荷電力の変動に載りながら、時折、最大20kW弱で出現する急峻なヒゲ状の負荷変動に対してはBTRが反応しており、負荷電力と買電電力のグラフを比較すると、その絶対値が小さくなっていることが分かる。

また、12:31過ぎから12:34にかけて負荷電力が最大となったが、このときGEとMGTの出力が共にフル出力で調整余力がなくなっているため、BTRは、この不足分の電力を放電しながら、なおかつ、急峻なヒゲ状の負荷変動にも対応している。

その後、12:34から12:35にかけて負荷電力が10kW程度ずつ2回にわたって急速に低下しているが、このとき12:35に買電目標値を40kWに上げたため負荷と買電目標の差が24kWになり、太陽光発電が9kW程度の出力であるため、MGTが停止動作に入っている。その後、MGTが再立上げされた12:38まで停止している間、12:36から負荷電力が増加したためGEの出力が増加し、GEの調整余力がなくなった段階で、BTRから放電が始まり、12:37過ぎまでBTRとGEで出力調整を行っている。MGTが再度立上がった12:38以降は、これに伴ってBTRの出力が減り、MGTとGEが出力調整運転を行っている。

その後、12:42過ぎに買電目標値が30kWに変更されたのを受けてMGTが20kWまで出力を増加させ、GEは5kWの下限値で運転を継続している。

その後12:45過ぎに負荷電力が10kW程度急増しているが、これに対しては、まずBTRが反応し、その後GE、MGTに負荷を移行しており、その後の12:47過ぎの負荷電力の増大に対してもBTRとGEが対応しており、負荷電力の急増に対しても買電目標値が維持されていることが分かる。

しかし、買電電力の変動状況をみると、急速で大きな減少方向の負荷変動に対して出力調整が十分に対応出来ていない部分があることが分かる。これは、MGTとGEの応答速度では対応できない負荷の変動であり、本実験では、BTRが負荷の増加方向の変化には放電で対応するのに対して、負荷の減少方向には充電で対応しないことによるものである。

本制御方法による負荷追従制御運転の結果、BTRの反応速度や容量を上回る急峻な負荷変動に対してヒゲが十分に切り切れていない部分があるものの、制御時間帯において買電電力は、ほぼ買電目標値を維持しており、開発目標である3分間同時同量 $\pm 3\%$ の数値目標を達成したことが確認された。

6.2 分散型電源の周波数応答特性による負荷追従制御

本制御方法の基本的考えは、BTRによるヒゲ取りまでを含めて、各分散型電源を能動的に制御しようとするものであり、各分散型電源の周波数応答特性に応じて、まず、緩やかな応答特性を有するMGTに可能な範囲で負荷追従をさせ、MGTが追従できない負荷変動についてはGEに可能な範囲で負荷追従をさせ、さらにGEが追従できない負荷変動については最も速い応答特性を有するBTRに補償させる方針とした。

図-14に制御ダイアグラムを示す³⁾。MGTへの出力指令は、MGTで補償できない高周波成分をLPF1でフィルタリングし、出力を正值に保つためバイアス分を加えたものとする。次に、GEへの出力指令は、P LoadからMGTの出力とバイアスなどを差し引き、GEとBTRが補償すべき電力を算出したあと、GEで補償できない高周波成分をLPF2でフィルタリングして、MGTと同様にバイアス分を加えて求める。BTRへの出力指令は上と同様にP LoadからMGTとGEの出力などを差し引いて求め、BTRでも補償できない高周波成分をLPF3でフィルタリングして求める。LPF3を通過した成分、すなわちBTRでも補償できない成分は、買電電力の変動として処理される。

本制御方法では、BTRを能動的に制御するため、6.1の計測制御システムにA/D変換器とD/A変換器

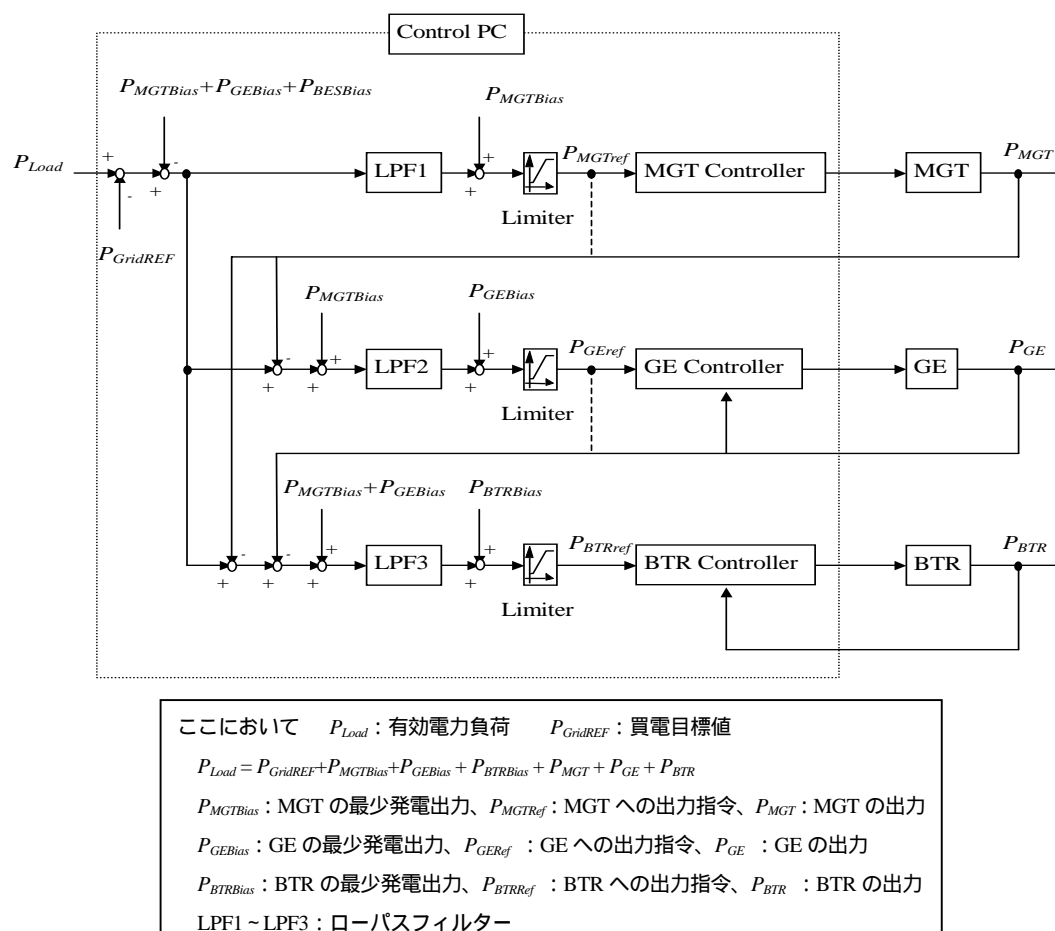


図 - 14 制御ダイアグラム

を取り付け、全体負荷電力、連系点電力、エレベータ消費電力、BTR出力の計測値を計測制御システムへの入力として、また、計測制御システムからBTRとGEへの出力指令値をアナログ信号で受け渡すよう改造した。なお、MGTへの出力指令は6.1と同じく計測制御用LANを経由した。

実験において、アナログ信号系の計測周期は電源周波数の1周期である20msecとし、制御周期は100msecとした。なお、GEへの出力指令は6.1の実験と同様LAN経由で1秒周期とした。

負荷追従制御実験の結果として、電力変動の計測データを10秒ごとに平均した結果を図-15に示す⁴⁾⁵⁾。

図-15において、14:13から16:12までの間、本制御方法による負荷追従制御を行っており、この時間帯は買電電力をほぼ一定に保つことが出来ている。この間、ステップ状に買電電力が変化しているのは買電目標値を変更したためである。

図-15に示したデータのうち、各分散型電源の出力変化を図-16に示す。

図-16より、GTは振幅の大きな時間的に緩やかな変動を吸収し、負荷電力の変動とほとんど相似的に出力を変化させている。GEは14kWのバイアス値を中心として短時間に変動する比較的小さな振幅の負荷に

追従している。BTRは一定の電力を供給しながら急速な負荷変動に対処しており、12kWのバイアス値を持っているため負荷電力の増加と減少の両方向の変動にも対応できている。BTRは制御開始から1時間40分後に蓄電容量の20kWhを使い切り15:50で放電終了となったが、放電終了から16:15までの間の買電電力の変動状況を、それ以前のBTRが放電している状態での買電電力の変動状況と比較するとBTRのヒゲ取りに対する効果が良く分かる。

本制御方法による負荷追従制御運転の結果、制御時間帯において買電電力は、ほぼ買電目標値を維持しており、開発目標である3分間同時同量 $\pm 3\%$ の数値目標を達成したことが確認された。

なお、本制御方法では、GEやBTRの出力がバイアス値を中心として比較的振幅の小さな変化をしているのに対して、MGTの出力が大きく変化しており、最も応答特性が悪いMGTに機械的に大きな負担をかけている結果となった。

GEやMGTの発電効率は一般に定格出力で最大となるが、発電効率の観点から見ると、今回の制御方法は経済性の点で問題があるため、今後は、MGTの制御について経済性を考慮した負荷の最適分担方法を検討する必要がある。

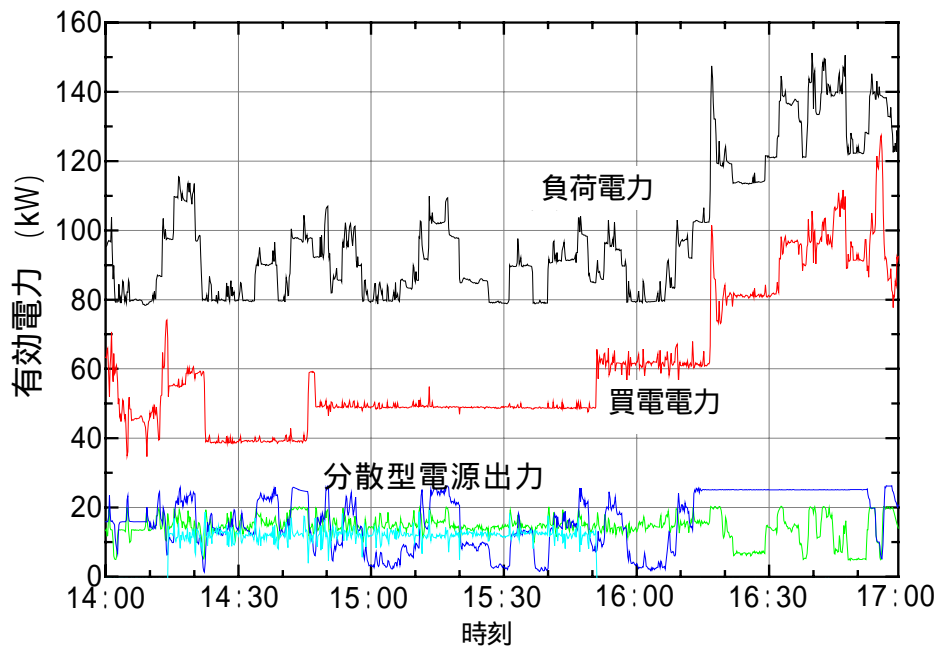


図 - 15 負荷追従制御実験における各電力の変化

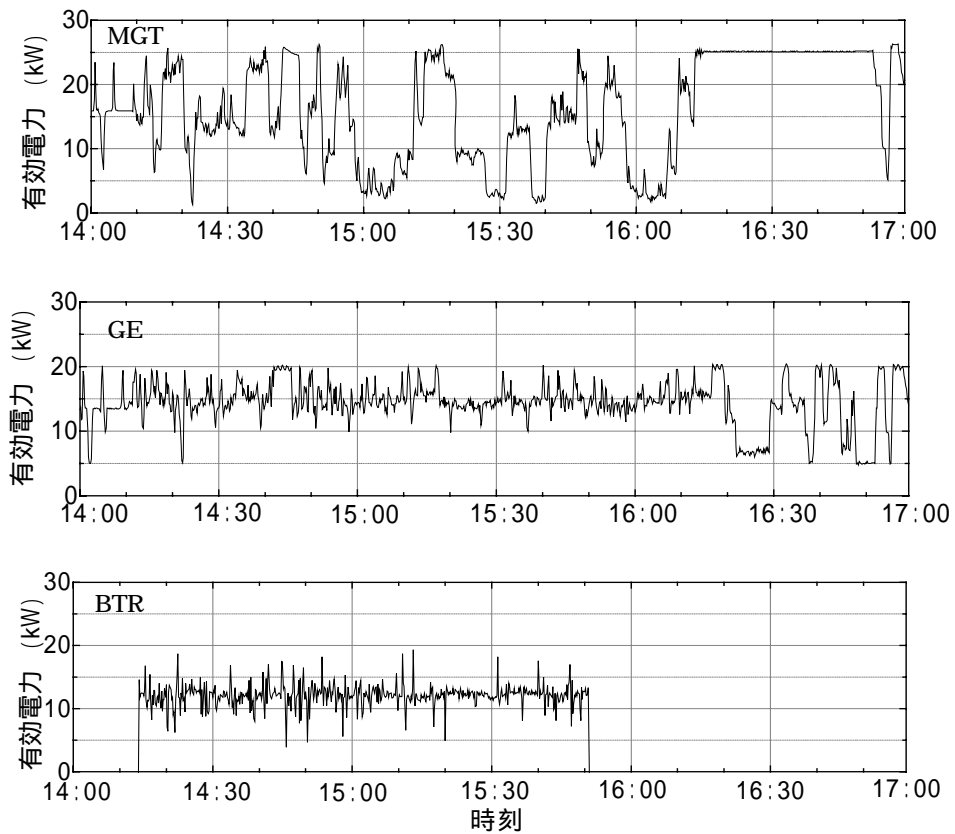


図 - 16 各分散型電源の出力変化

§ 7. まとめと今後の課題

技術研究所の中央実験棟を対象に小規模なマイクログリッド試験設備を構築し、負荷追従制御技術の開発を行った。

分散型電源の電力指令値に対する周波数応答特性を計測し、各分散型電源の負荷追従性を明らかにした。

「分散型電源の運転特性を考慮した負荷追従制御」と「分散型電源の周波数応答特性による負荷追従制御」の2つの制御方法によって、実負荷を対象とした有効電力の負荷変動制御を行い、それぞれの制御方法において連系点における買電電力一定制御を実現し、3分間同時同量 $\pm 3\%$ の開発目標を達成した。

今回の開発では、有効電力のみを対象に制御を行ったが、マイクログリッドとして運用するためには無効電力も制御する必要がある。また、自立運転時の安定

的な電力品質の維持のためには、電圧と周波数を制御する必要があり、これらの課題については、今後、継続的に技術開発を進めていく。

謝辞

本システムの研究開発に関して、多くの有益なご指導とご助言をいただいた東京理科大学・正田英介教授と東京大学大学院・仁田旦三教授に、心よりお礼申し上げます。

また、本システムの研究開発を、直接ご指導いただいた東京大学大学院・馬場旬平助教授に、心から感謝の意を表します。

また、本研究開発に係る実験の実施やデータの整理解析にご協力いただいた東京大学大学院・西川勝也氏と、(株)ファインスタッフの油井昌史氏に、厚くお礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 沼田茂生, 森野仁夫, 猪腰友典: “建物の電力負荷変動計測と分散型電源による負荷追従制御”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.1357 ~ 1358. , 2004
- 2) Baba, J., et al. : “ Fundamental Measurements of a Small Scale Micro Grid Model System ”, The International Conference on Electrical Engineering 2005, PS1-33, ICEE-F0314 , 2005
- 3) Baba, J., et al. : “ Combined power supply method for micro grid by use of several types of distributed power generation systems ”, Proc.11th European Conference on Power Electronics and Applications , 344, pp.1 ~ 10. , 2005
- 4) 沼田茂生, 森野仁夫, 他: “ 建物実負荷を含む小規模マイクログリッド試験設備による負荷変動補償 ”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.1391 ~ 1392. , 2005
- 5) 沼田茂生 : “ 清水建設のマイクログリッドへの取り組み ”, クリーンエネルギー, Vol.14, No.12, pp.39 ~ 43. , 2005