

## 目次

## 第1部 概要編

<b>第1章 スマートグリッド</b> .....	1
1.1 電力系統とは .....	2
1.1.1 電力系統の歴史 .....	2
1.1.2 電力系統の需給バランス .....	3
1.2 電力系統の需給制御 .....	5
1.2.1 中央給電指令所の制御 .....	5
1.2.2 自然エネルギー発電と需給制御 .....	7
1.3 スマートグリッド化 .....	10
1.3.1 高速デマンドレスポンス .....	10
1.3.2 仮想発電所システム .....	13
1.3.3 空調電力デマンドレスポンス .....	15
1.3.4 空調電力デマンドレスポンスと電力用蓄電池 .....	17
<b>第2章 電力系統の需給バランス</b> .....	21
2.1 電力系統の需給バランスとは .....	22
2.1.1 交流電力系統における周波数 .....	22
2.1.2 発電と需要の瞬時バランスと周波数 .....	24
2.2 中央給電指令所の役割 .....	25
2.2.1 負荷周波数制御 LFC .....	25
2.2.2 経済負荷配分制御 EDC .....	29
<b>第3章 仮想発電所システム</b> .....	35
3.1 仮想発電所の概念 .....	36
3.1.1 電力需要とネガワット .....	36
3.1.2 需要家側の仮想発電所サービス .....	37
3.2 仮想発電所システム通信 .....	40

3.2.1 間接制御通信 OpenADR	40
3.2.2 直接制御通信 IEC61850	44
3.2.3 需要家設備通信 IEEE1888	51
<b>第4章 仮想発電所の構成要素</b>	59
4.1 電力用蓄電池	60
4.1.1 電力用蓄電池システム	60
4.1.2 蓄電池システムの系統連系	62
4.2 充放電制御計画	64
4.2.1 JEPX 時間前市場	65
4.2.2 自動最適入札エージェント	67
4.2.3 電力卸市場価格の予測モデル	71
4.3 需要制御	73
4.3.1 デマンドレスポンスにおけるネガワット取引	73
4.3.2 わが国のネガワット取引の現状	76
4.3.3 仮想発電所が使う FastADR	78
4.4 ベースライン推定	80
4.4.1 従来のベースライン推定方法	80
4.4.2 FastADR のベースライン推定方法	86

## 第2部 構築技術編

<b>第5章 仮想発電所の蓄電池制御</b>	93
5.1 蓄電池システムによる需給調整	94
5.1.1 仮想発電所における蓄電池システム制御	94
5.1.2 電力用蓄電池の具体的需給調整制御	96
5.2 蓄電池需給調整サービス	99
5.2.1 蓄電池システムのサービス情報	99
5.2.2 電力需要調整サービス信号	104
5.2.3 IEC61850 規格による通信サービス	104
5.2.4 蓄電池システムの IoT 制御	109

<b>第6章 仮想発電所の需要家設備制御</b>	113
6.1 ビルマルチ空調の FastADR 応答予測	114
6.1.1 ビルマルチ空調の FastADR 応答予測とは	114
6.1.2 ニューラルネットワーク予測	117
6.1.3 ディープラーニングの学習方法	119
6.2 ビルマルチ空調の FastADR 室温変化	124
6.2.1 室温変化予測のニューラルネットワーク	124
6.2.2 FastADR による室温変化予測の実例	128
6.3 ビルマルチ空調機群のネガワット集約	133
6.3.1 ビルマルチ空調機群の集約とならし効果	133
6.3.2 快適性維持とローテーション制御	137
6.4 ビルマルチ空調機群 FastADR の蓄電池補償	140
6.4.1 ビルマルチ空調機群 FastADR の需給調整信号への追従性	140
6.4.2 ビルマルチ空調機群 FastADR の蓄電池による追従性補償	143
<b>第7章 仮想発電所の性能</b>	149
7.1 ビルマルチ空調電力の制御モデル	150
7.1.1 ビルマルチ空調の消費電力	150
7.1.2 ビルマルチ空調の制御モデル	154
7.2 オフィスビルの熱負荷シミュレーションモデル	158
7.2.1 日射の熱負荷モデル	158
7.2.2 架空標準オフィスビルの熱負荷モデル	162
7.3 仮想発電所の電力系統シミュレーション	167
7.3.1 電力系統の瞬時需給解析	167
7.3.2 ビルマルチ空調の仮想発電所のシミュレーションモデル	173
7.3.3 仮想発電所の性能シミュレーション例	180
7.4 仮想発電所の制御性能評価	183
7.4.1 米国の系統運用機関の評価基準例	183
7.4.2 ビルマルチ空調仮想発電の制御モデル	186
7.4.3 ビルマルチ空調仮想発電の評価例	191
7.5 ビルマルチ空調の FastADR と室温維持	195
7.5.1 ビルマルチ空調電力・室温の状態空間モデル	195

7.5.2	ビルマルチ空調の FastADR 最適レギュレータ	197
7.6	仮想発電所の通信とトラフィック評価	201
7.6.1	FastADR の Web サービス通信解析	201
7.6.2	FastADR の Web サービス通信シミュレーション	206
<b>第 8 章</b>	<b>仮想発電所の通信構築</b>	<b>215</b>
8.1	OpenADR の通信規格	216
8.1.1	OpenADR 規格の通信方式	216
8.1.2	OpenADR 規格による通信サービス	218
8.1.3	OpenADR 規格のソフトウェア実装	222
8.2	IEC61850 の通信規格	227
8.2.1	IEC61850 の論理ノード構成	227
8.2.2	IEC61850 規格のソフトウェア実装	232
8.3	IEEE1888 の通信規格	243
8.3.1	IEEE1888 規格の通信方式	243
8.3.2	IEEE1888 規格のソフトウェア実装	248
<b>第 9 章</b>	<b>仮想発電所の展望</b>	<b>255</b>
9.1	潜在的リソース	256
9.1.1	ビルマルチ空調設備の潜在能力	256
9.1.2	空調負荷は高速デマンドレスポンスに適する	259
9.2	実用化の制度設計	260
9.2.1	需給調整市場の制度設計	260
9.3	社会制度の鍵	263
9.3.1	仮想発電所サービスの対価精算	263
9.3.2	仮想発電所のクリーン価値	266
<b>参考文献</b>		<b>268</b>
<b>索引</b>		<b>279</b>