

平成26年度 スマートグリッドのモデル化とシミュレーション技術

分散電源導入型給電システム におけるグリッド間連系

愛知工業大学
雪田 和人

発表内容

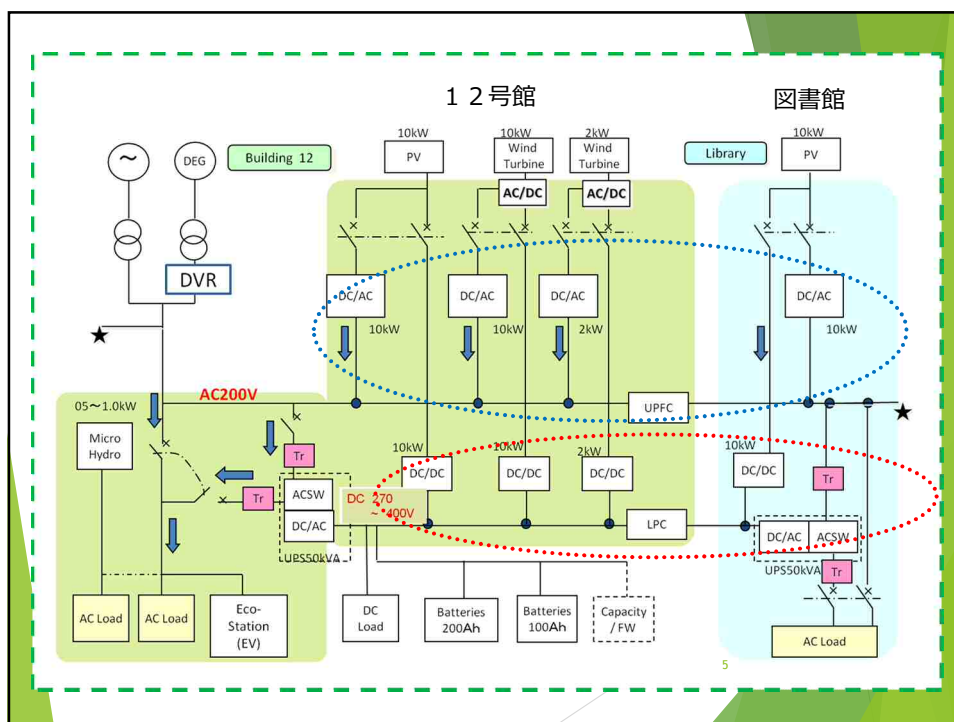
- ▶ はじめに
- ▶ 分散型電源導入システムによる給電システム
 - ・ 自立運転
 - ・ 系統連系運転
 - 1) 受電モード
 - 2) ピークカット・ピークシフト
 - 3) 逆潮流モード
- ▶ グリッド間連系による電力融通
 - ・ 潮流制御装置
 - ・ 実験結果
- ▶ まとめ

2



システム概要

	太陽光発電 (12号館) (図書館)		鉛蓄電池 (12号館) (図書館)		グリッド 管理装置 (12号館) (図書館)
種類	多結晶シリコン	容量	200Ah	出力容量	50kVA
公称最大電力	10kW (178.6W×56枚)	交渉電圧	312V	運転方式	パラレル プロセッシング
公称開放電圧	29.4V (1枚当たり)	接続	26直列×4並列	製造会社	山洋電気株式会社
公称短絡電流	8.15A (1枚当たり)	製造会社	新神戸電機株式会社		
	パワー コンディショナ (4台)	交流負荷 (12号館) (図書館)			
出力容量	10kW	照明 空調 コンセント負荷			
入力電圧	DC200~500V				
出力電圧	AC202V				
製造会社	山洋電気株式会社				



はじめに

分散型電源導入系統における給電システム

分散型電源（太陽光発電・風力発電）でエネルギーの自給自足？

- ・ 供給する負荷の特性（大きさ、特徴）
- ・ 太陽光発電・風力発電などは出力が不安定
- ・ 蓄電装置が必要
- ・ 充電・放電ができる変換器
- ・ 各分散型電源の出力を計測・制御
- ・ コスト



パラレルプロセッシング方式を用いた分散型電源導入系統における給電装置を開発（愛知工大・NTT-F・山洋電気：協同開発：H18 文科省助成）

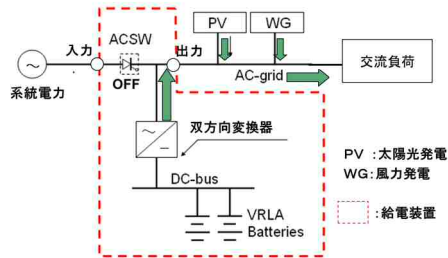
- ・ 分散型電源導入系統の自立運転
- ・ 無瞬断での 系統連系 — 自立 — 連系 が可能
- ・ ピークシフト・ピークカット
- ・ 系統連系運転（一定受電、受電量制限）
- ・ 蓄電池（鉛、リチウムイオン電池、EDLCなど）



6

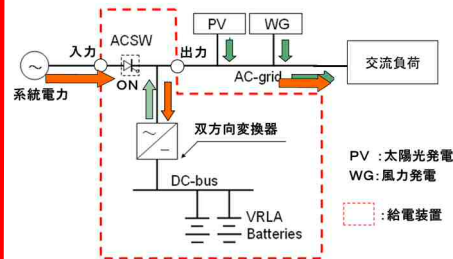
分散型電源導入系統における 給電システムの運転方式

自立運転モード



- ・ PV・WGは電流源
- ・ 双方向変換器は電圧源

系統連系運転モード



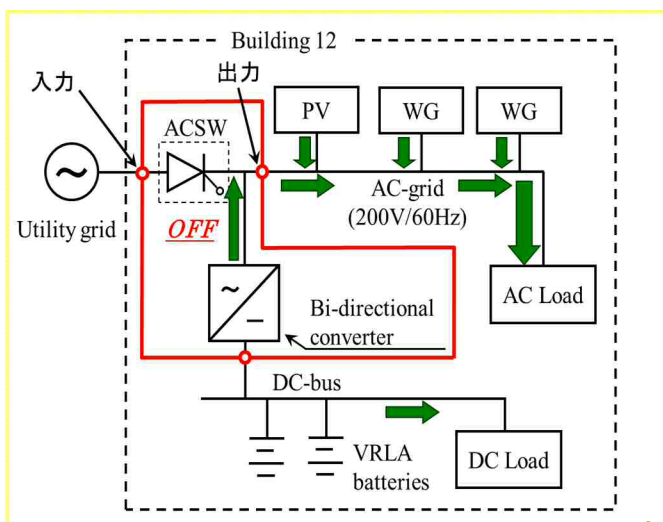
- ・ 充電モード
- ・ 系統電力一定
- ・ 系統電力制限受電
- ・ ピークカット・ピークシフト
- ・ 逆潮流運転 (無瞬断検討中)

- ・ PV・WGは電流源
- ・ 双方向変換器も電流源

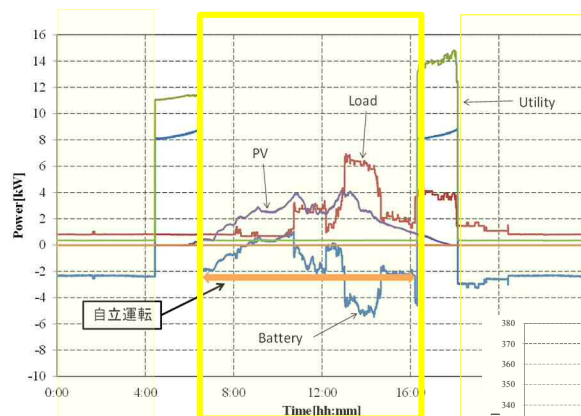
無瞬断での移行

自立運転モード

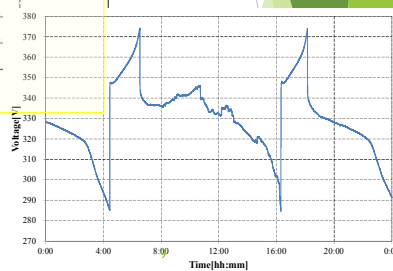
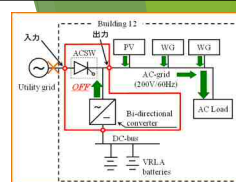
常時はACSWをOFFし、自立運転にて電力供給



自立運転モード



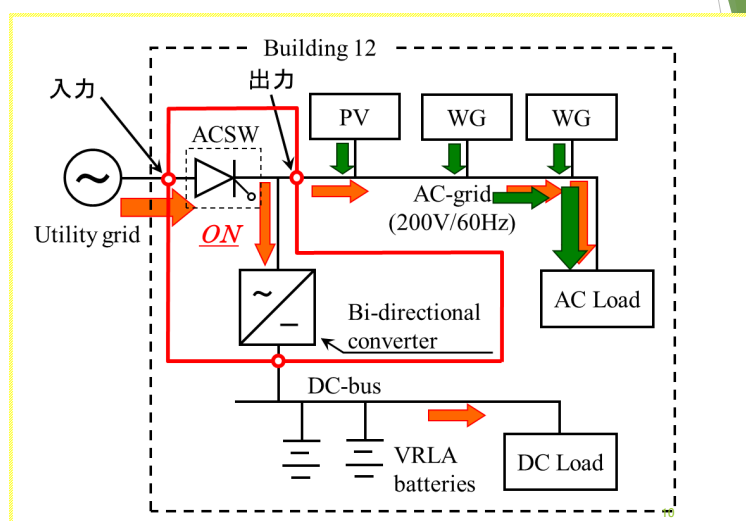
電力特性



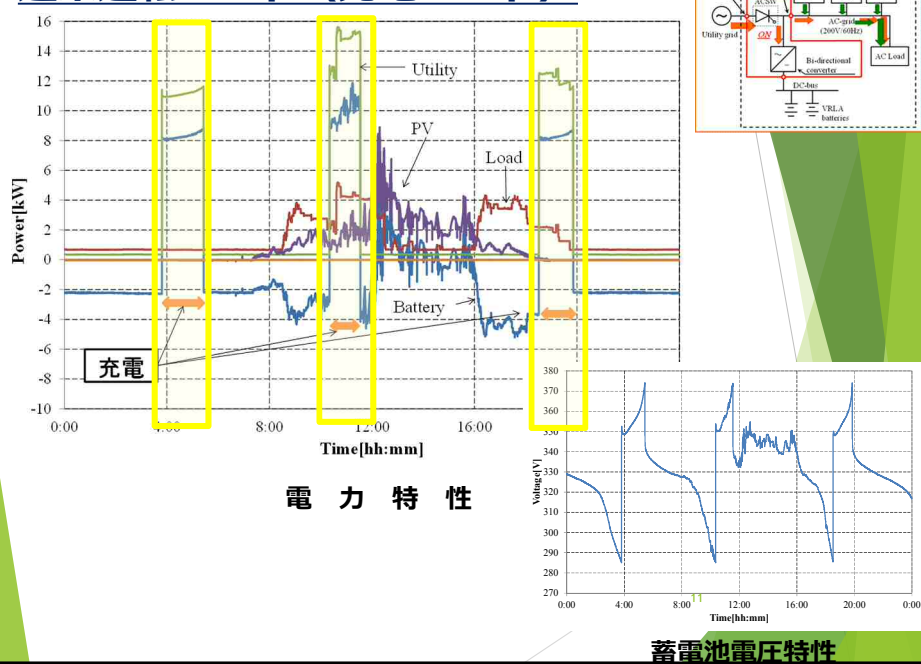
蓄電池電圧特性

連系運転モード（充電モード）

蓄電池放電が継続した場合、系統電力に連系



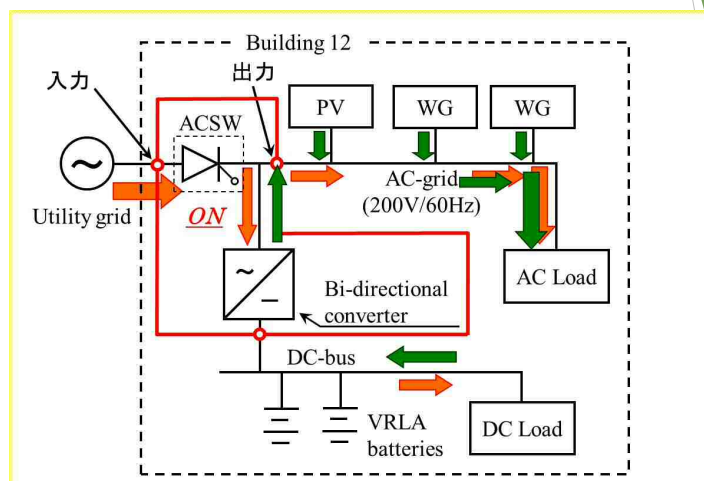
連系運転モード（充電モード）



システムにおける各制御

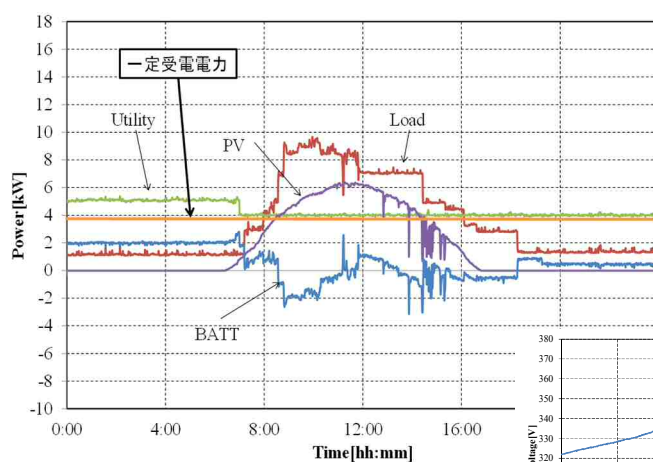
	AC SW	双方向コンバータ	動作	PV WG	交流母線電圧／周波数	高調波
①	OFF	非同期モード	・CVCf制御	MPPT	一定	交流母線での電圧歪みの抑制
		同期モード	・系統電力に同期した交流電圧		系統に依存	交流母線での電圧歪みの抑制
②	ON	連系モード	・アクティブフィルタ ・蓄電池充電			高調波電流の系統側への流出の抑制
③	OFF	系統異常モード	・CVCf制御		一定	交流母線での電圧歪みの抑制

連系運転モード（一定受電モード）

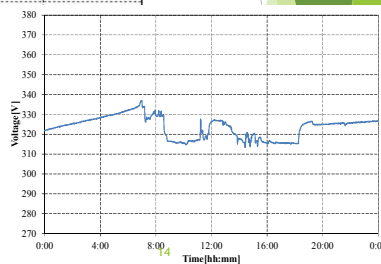


13

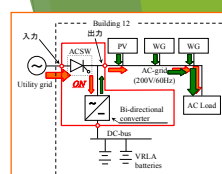
連系運転モード（一定受電モード）



電力特性



蓄電池電圧特性



ピークカット・ピークシフト

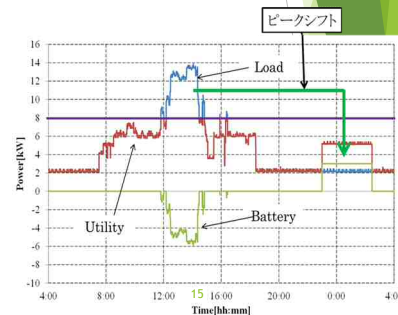
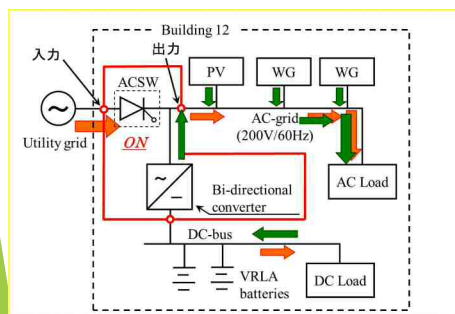
受電電力を、設定した電力値以内となるようにシステムの運転

(負荷電力-分散型電源発電電力)>ピークカット値

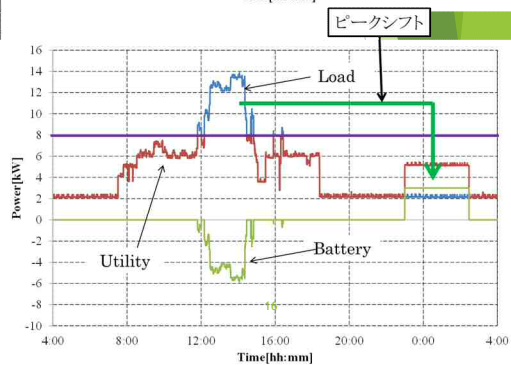
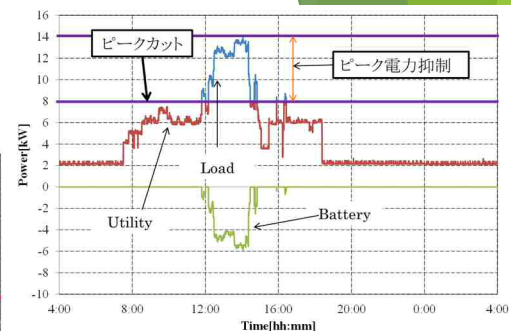
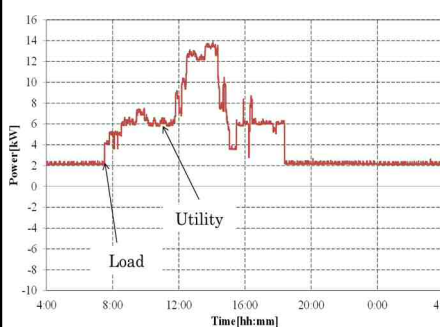
不足電力を系統からの受電と蓄電池からの放電でまかなう

(負荷電力-分散型電源発電電力)<ピークカット値

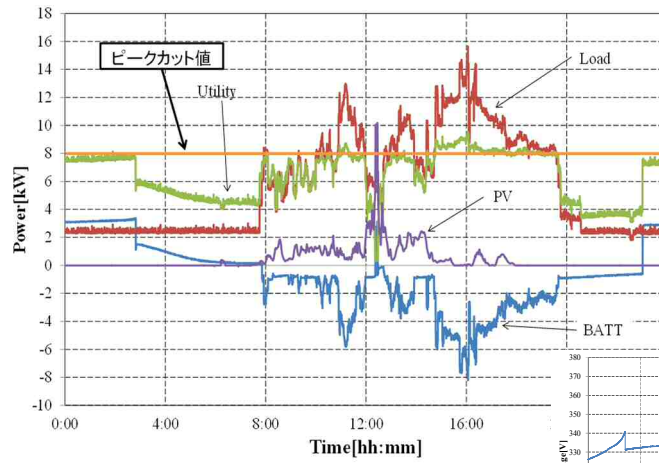
不足電力を系統からの受電でまかなう



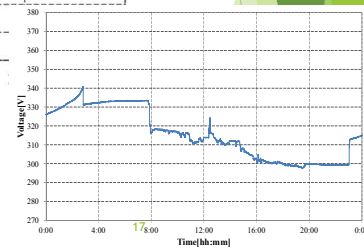
ピークカット・ピークシフト



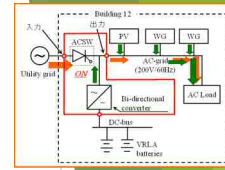
系統連系モード(ピークカットモード)



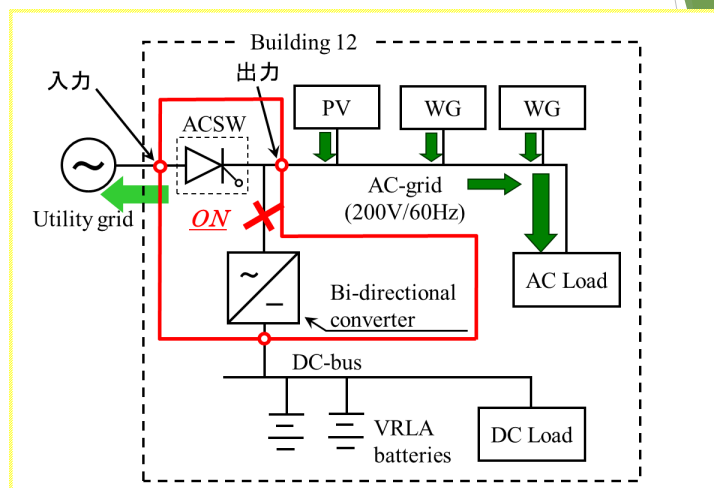
電力特性



蓄電池電圧特性

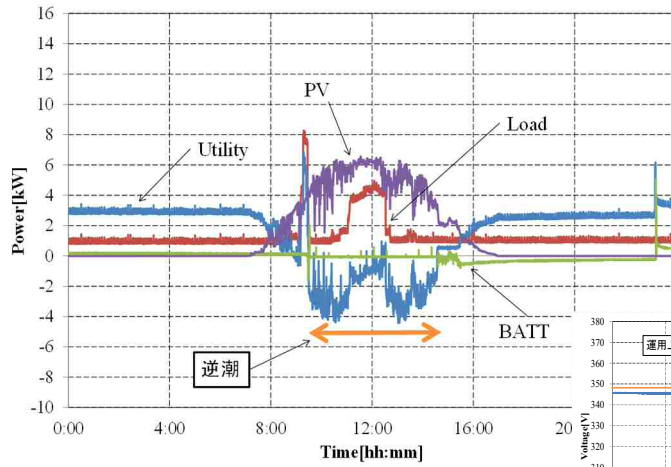


系統連系モード(逆潮流モード)

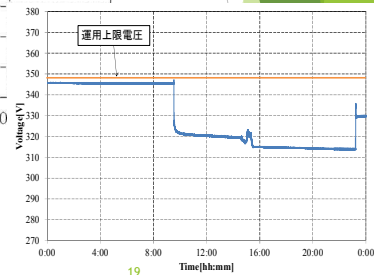
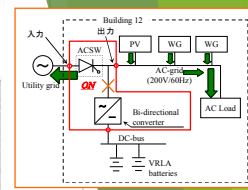


18

系統連系モード(逆潮流運転モード)



電力特性

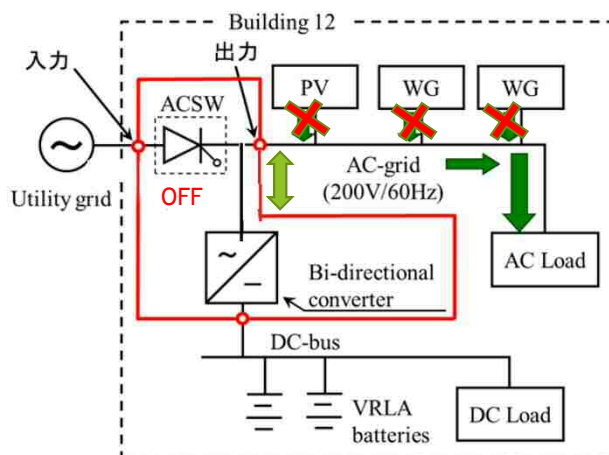


蓄電池電圧特性

(逆潮流運転が×のとき)

系統連系モード(分散型電源停止運転)

蓄電池が上限電圧であるならば分散型電源を停止



20

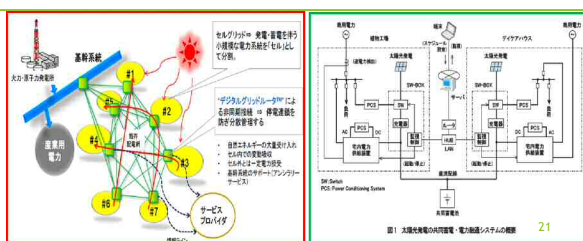
小規模系統間の電力融通について検討

- ・分散型電源の稼働率の向上
- ・蓄電設備の設備容量軽減の可能性
- ・供給信頼度の向上
- ・電気料金の軽減

スマートグリッド・マイクログリッド間の電力融通に関する代表研究例

- ・もたせ型分散エネルギーシステム (DC) 茨城大：小林先生, 芝浦工大：藤田先生
- ・デジタルグリッド (AC) 東大：阿部先生, 福井大：田岡先生, 大阪工大：木村先生
- ・おなり同士電力融通システム (DC) 中電技術コンサルタント, 鳥取市
- ・直流電力融通システム (DC) NTTファシリティーズ, 山形市

などが実施



出展: デジタルグリッドコンソーシアム

http://www.glocom.ac.jp/project/ftm/docs/ws_5_20140218_siryou.pdf

出展: 岡村 幸壽他”共同電池からの宅内電力供給装置の開発”

小規模系統間の電力融通に関する研究

直流電力融通の利点

- ・潮流制御が容易
- ・電流、電圧の位相、周波数の同期が不要
- ・太陽光発電、蓄電池との親和性 (省エネ効果が高い?)

etc...

- ・ PFCを用いて直流システムによる
マイクログリッド(MG)間の電力融通について検討

⇒ 実験環境における1日における電力融通特性

PFCの制御方法

- 1) 電力需要、発電量に応じた電力融通システム
- 2) マイクログリッドの直流バスの電圧値に応じた電力融通システム

直流電力潮流制御装置(PFC)

◆ PFC動作要件

✓ 運転開始要件

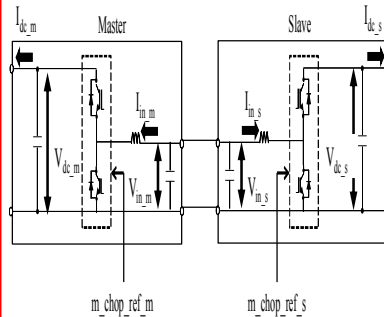
1. 蓄電池電圧が起動電圧以上のとき運転開始

✓ 電力融通開始要件

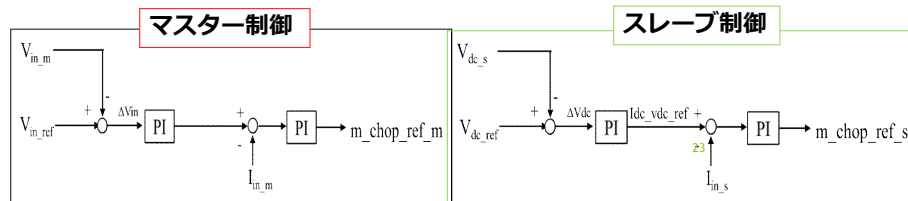
2. マスター側と連系している蓄電池電圧が335V以上になった場合に電力融通を開始

✓ 電力融通停止要件

3. 蓄電池電圧が上限値電圧に達した場合
4. マスター側からスレーブ側に電力融通時にマスター側と連系している蓄電池電圧が330Vを下回った場合



各制御方法の制御ブロック



実験方法

◆ 電力融通条件(シナリオ1 : S1)

- 下記のPFCの電力融通要件を満たしているとき

MG2 : PV > Load
MG2 ⇒ MG1に電力融通を開始

◆ 電力融通条件(シナリオ2 : S2)

- 下記のPFCの電力融通要件を満たしているとき
設定値電圧を逸脱した場合電力融通を行う

S2における各MGの設定電圧

	MG1 マスター	MG2 スレーブ
上限電圧 V _{batt_max}	336	340
下限電圧 V _{batt_min}	330	320

◆ PFC動作要件

✓ 運転開始要件

1. 蓄電池電圧が起動電圧以上のとき運転開始

✓ 電力融通開始要件

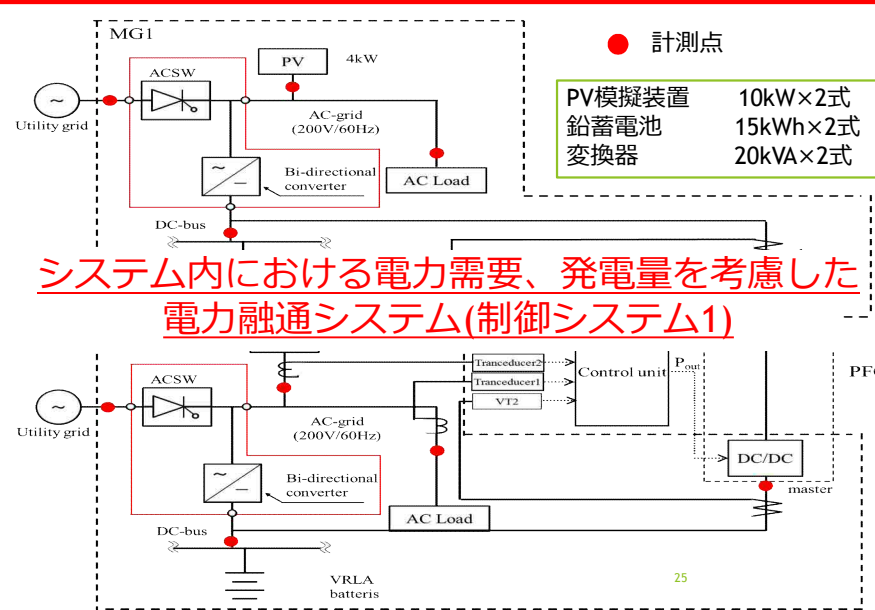
2. マスター側と連系している蓄電池電圧が335V以上になった場合に電力融通を開始

✓ 電力融通停止要件

3. 蓄電池電圧が上限値電圧に達した場合
4. マスター側からスレーブ側に電力融通時にマスター側と連系している蓄電池電圧が330Vを下回った場合

実験システム構成図

(エコ電力研究センター内での装置稼動実験)



実験方法

制御システム1

シナリオ1 (S1)

MG1：オフィス負荷

MG2：蓄電池がほぼ満充電かつ低負荷

⇒オフィスビルは通常勤務、工場が休業の場合など
電力ピーク値3kWの小規模系統にて

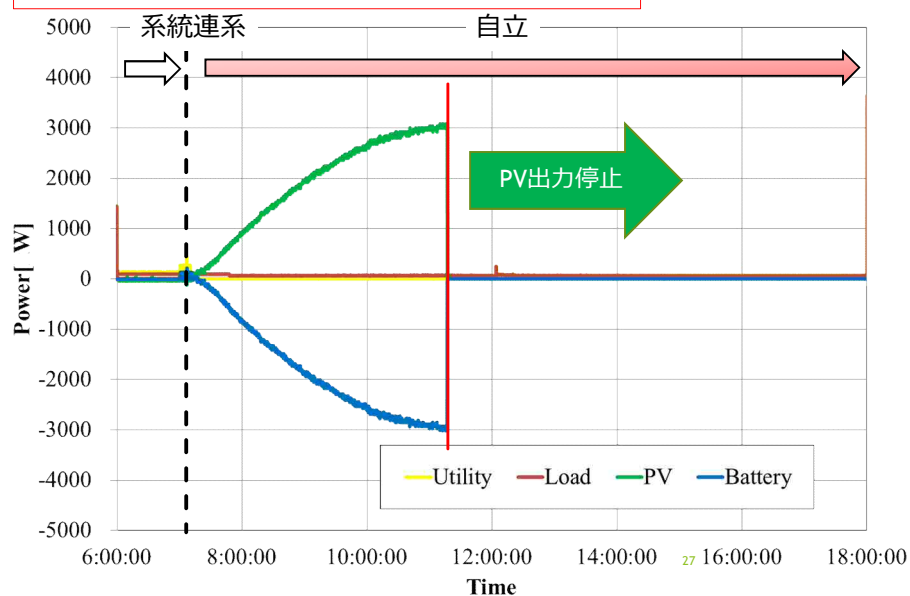
各マイクログリッドの負荷変動パターンを模擬

◆実験方法(シナリオ：S1)

- 実験実施時間：6時から18時
- 6時から7時⇒系統と連系し、負荷、蓄電池に電力を供給
 - ・ MG1⇒蓄電池に一定充電
 - ・ MG2⇒満充電のため充電を行わない
- PV出力特性 MG1：曇り⇒晴れ MG2：晴れ
- 7時以降は各MGは自立で運用
- 自立運用後に電力融通条件が整っている場合に電力融通

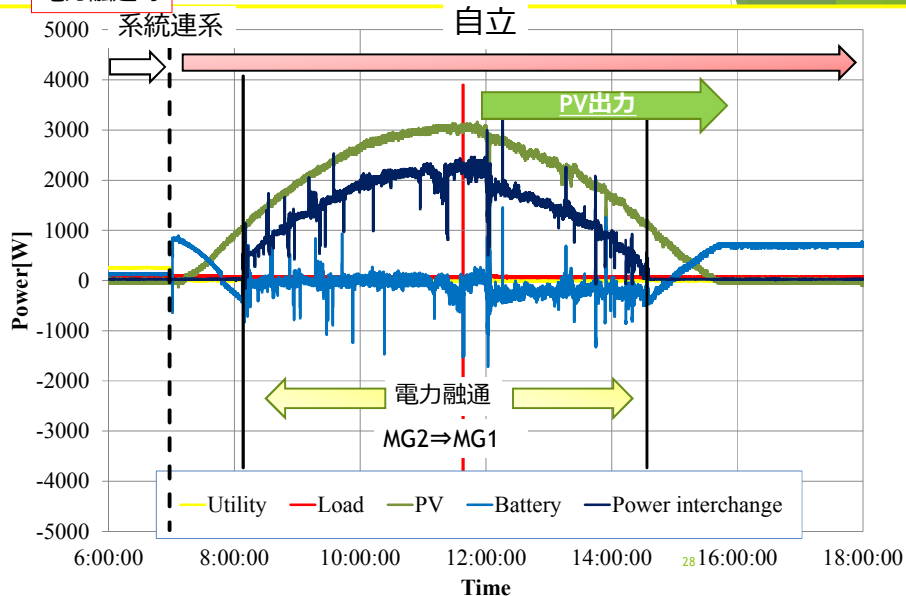
実験結果(S1) MG2(工場負荷)

同条件時における単一グリッド運用時（融通なし）

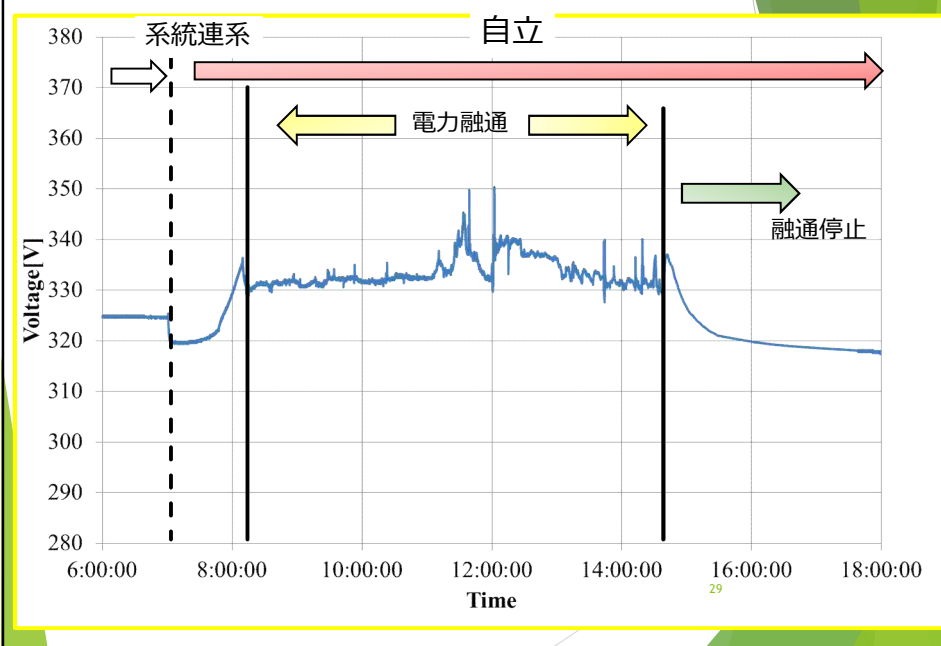


実験結果(S1) MG2(工場)

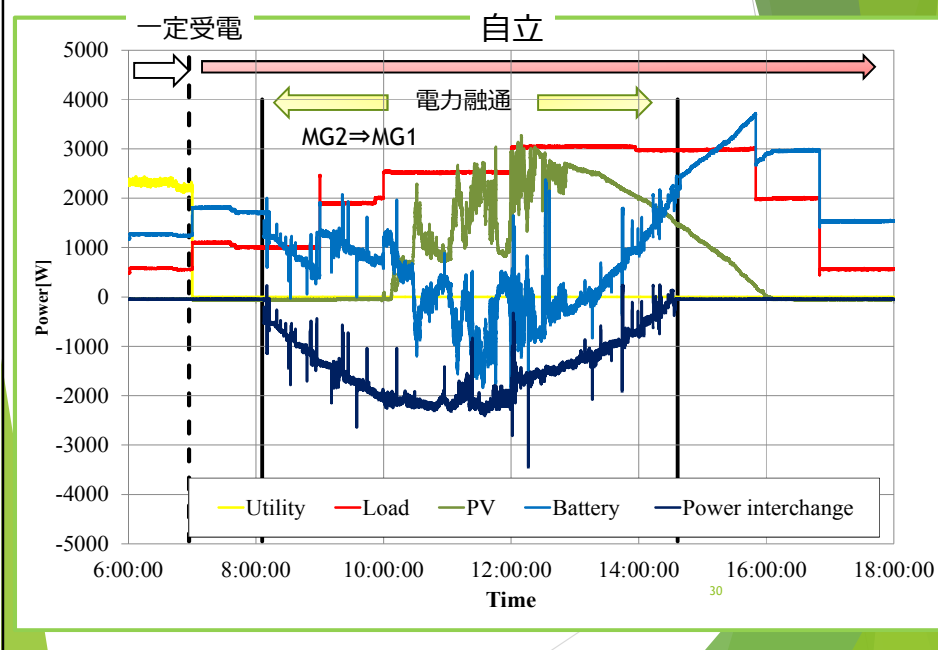
電力融通時



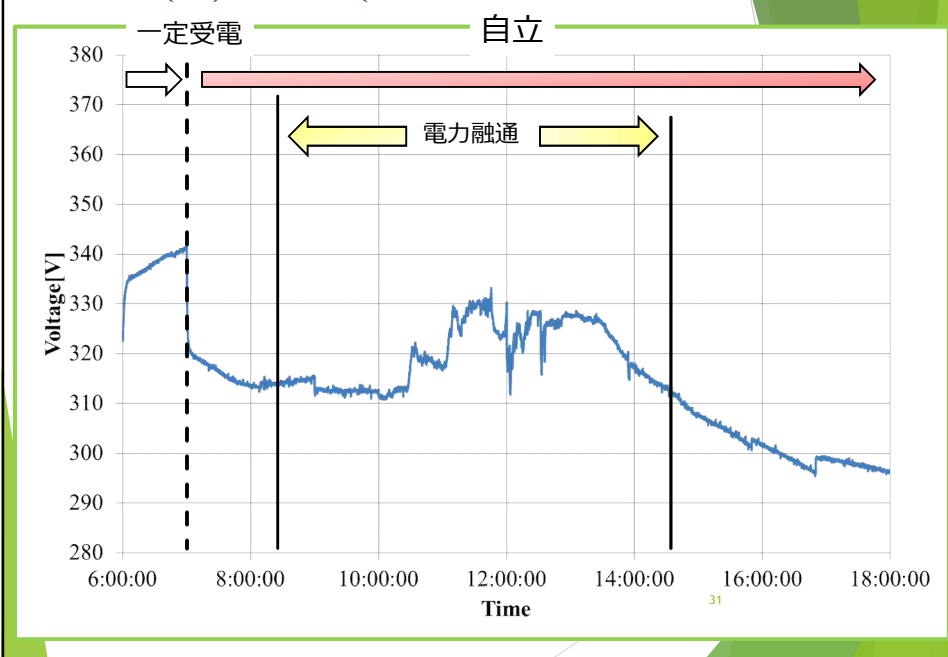
実験結果(S1) MG2(工場)



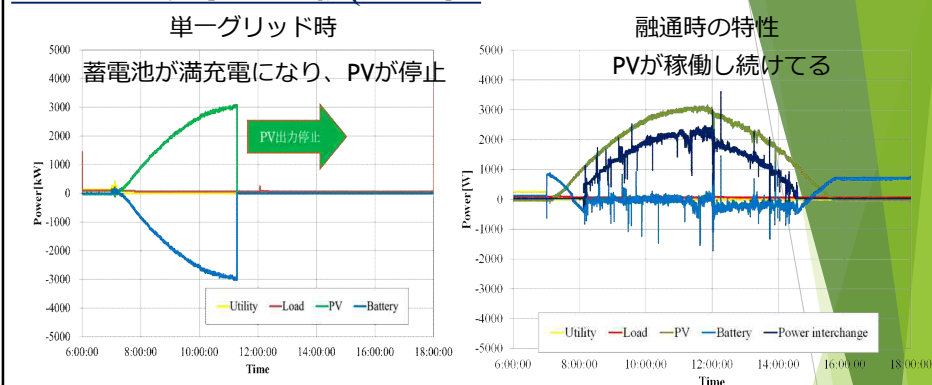
実験結果(S1) MG1(オフィス)



実験結果(S1) MG1(オフィス)



単ーグリッドと比較(MG2)



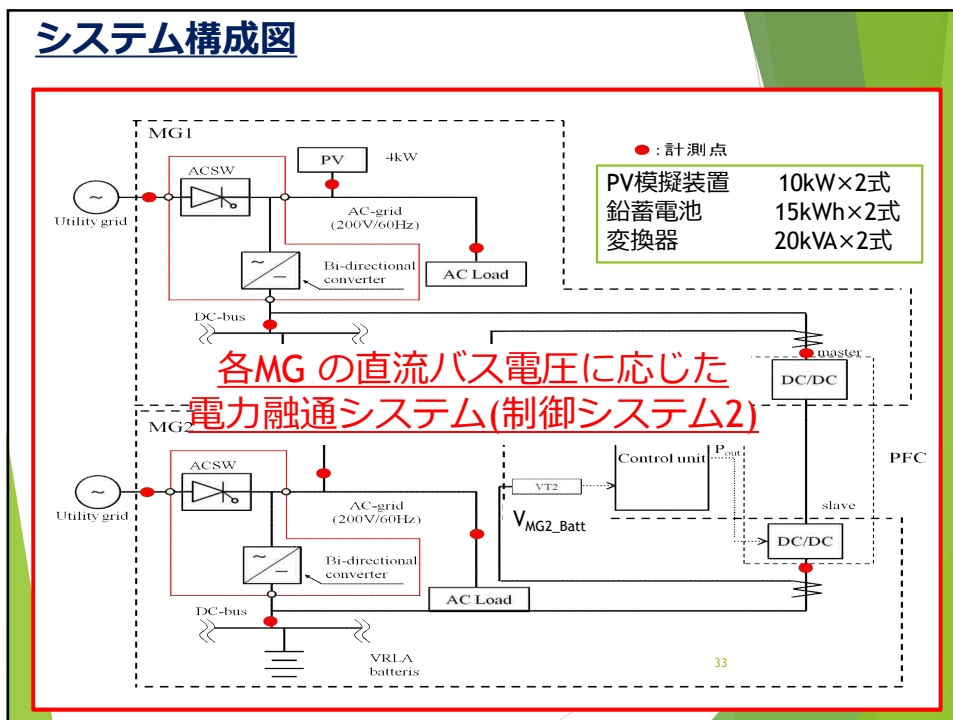
	融通量[kWh]	電力融通方向
S1(8-14時)	6.98	MG2⇒MG1

PVが停止することなく運用できている

➡ PVの稼働率向上

32

システム構成図



実験方法

シナリオ2 (S2)

MG1 : 住宅

MG2 : オフィスビル

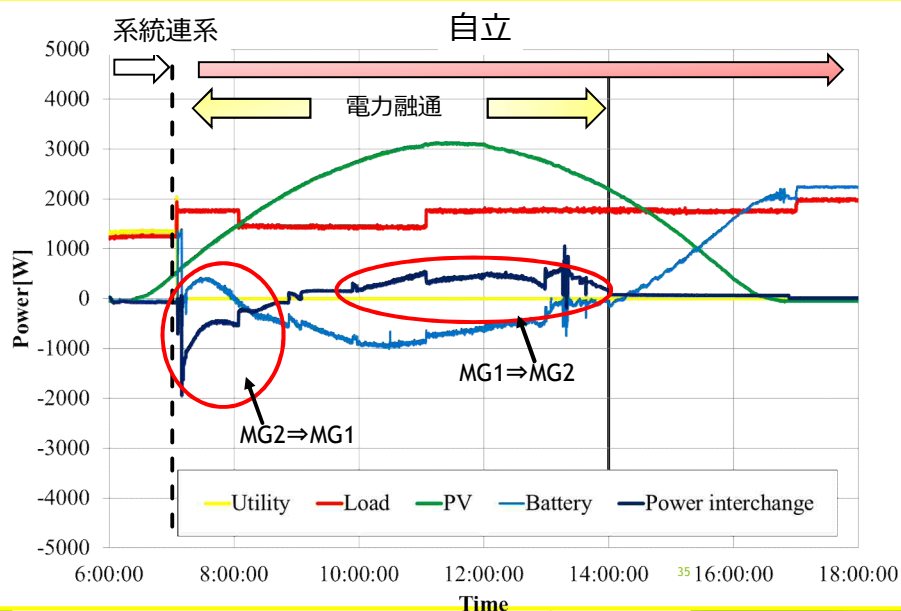
⇒前日が休日で蓄電池のSOCが比較的高く保持された場合など
電力ピーク値3kWの小規模系統にて

住宅、オフィスの負荷変動パターンを模擬

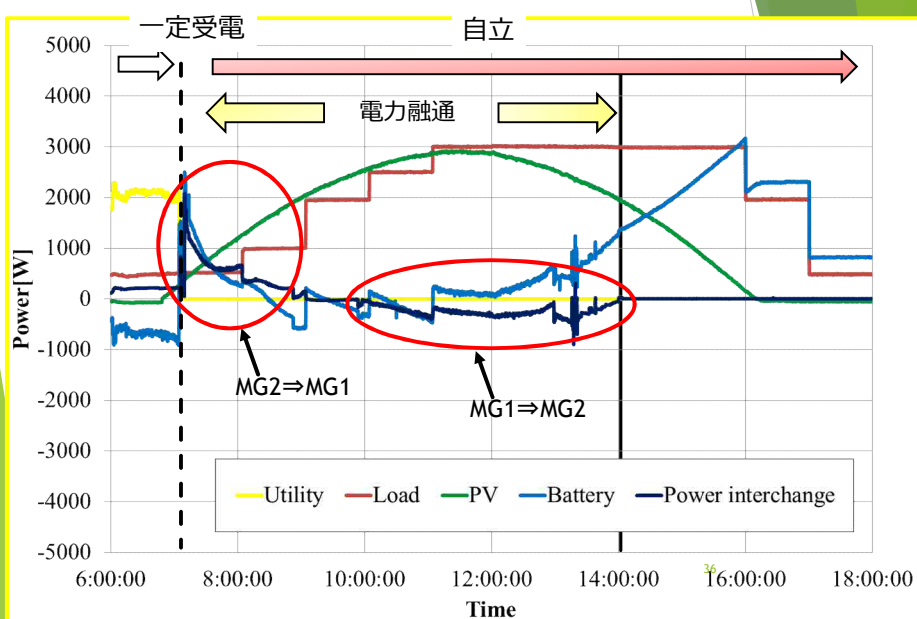
◆ 実験方法(シナリオ : S2)

- 実験実施時間 : 6時から18時
- 6時から7時⇒系統と連系し、負荷、蓄電池に電力を供給
- MG1⇒ SOCが高く保持されているため充電を行わない
- MG2⇒蓄電池に一定充電
- PV出力特性 MG1 : 晴れ MG2 : 晴れ
- 7時以降は各MGは自立で運用
- 自立運用後に電力融通条件が整っている場合に電力融通

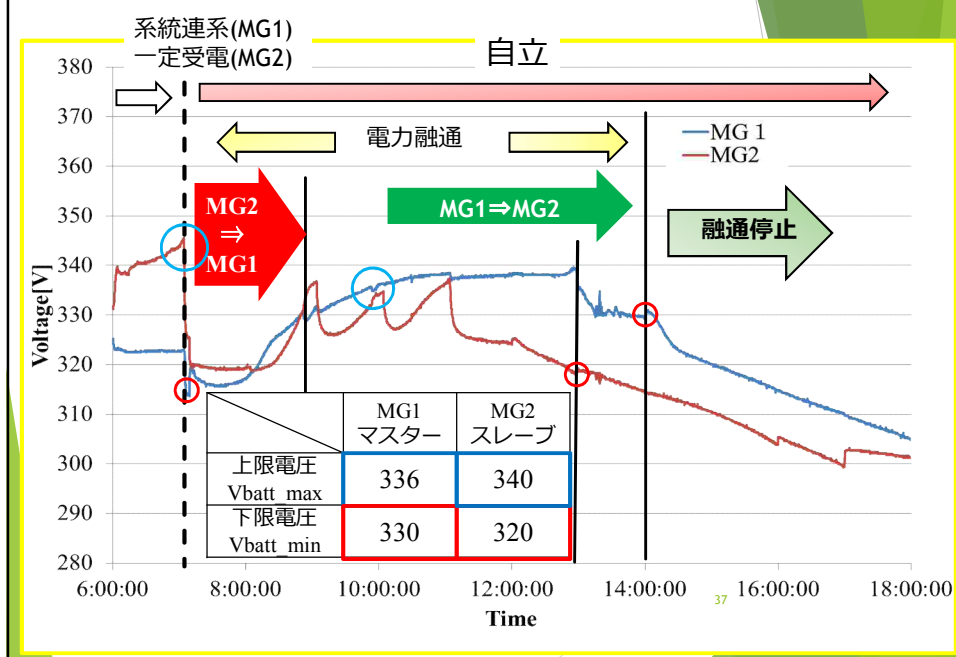
実験結果(S2) MG1(住宅)



実験結果(S2) MG2(オフィスビル)



実験結果(S2)



実験結果(シナリオ 2 S2)

◆ 各マイクログリッドの蓄電装置の設定値電圧

	MG1 マスター	MG2 スレーブ
上限電圧 Vbatt_max	336	340
下限電圧 Vbatt_min	330	320

MG2⇒MG1			
MG1		MG2	
Average	321.4	Average	323.5
MAX	332	MAX	345.6
MIN	313.4	MIN	318.4

MG1⇒MG2			
MG1		MG2	
Average	335.6	Average	324.9
MAX	339.6	MAX	337.4
MIN	329.2	MIN	314.4

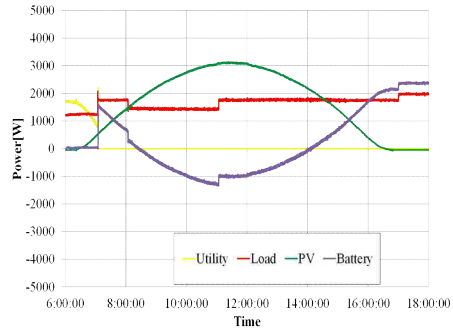
電力融通量
0.73kWh

電力融通量
1.01kWh

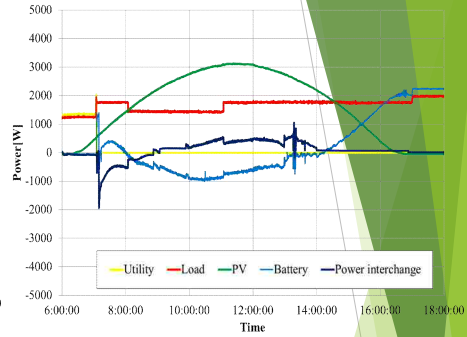
⇒ 一方のMGが設定値内であれば蓄電池を共同負担することが可能

単一グリッドと比較(MG1)

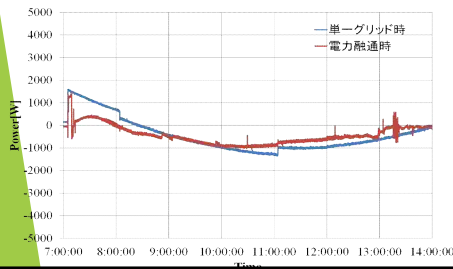
単一グリッド運用時



融通時の特性



7-14時における蓄電池充放電特性



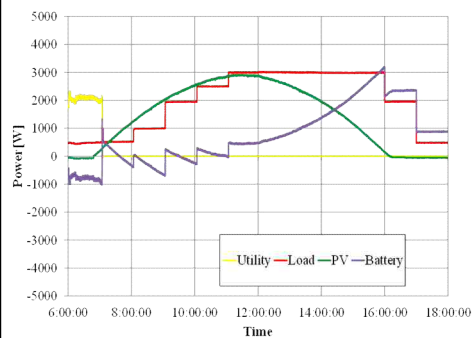
7-14時における蓄電池充電量

	単一グリッド	電力融通
7-14時	-2.69	-2.95

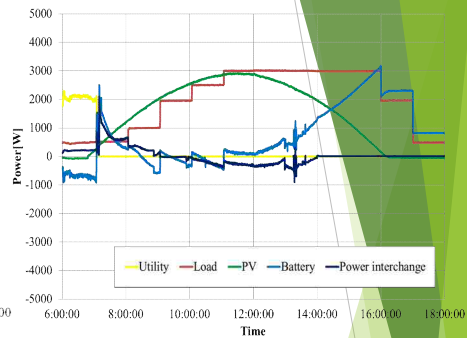
0.26 kWh増加

単一グリッドと比較(MG2)

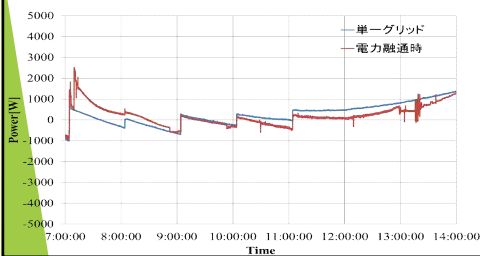
単一グリッド運用時



融通時の特性



7-14時における蓄電池充放電特性



7-14時における蓄電池放電量

	単一グリッド	電力融通
7-14時	1.93	1.55

0.38 kWh軽減

S2におけるMG1のSOC特性

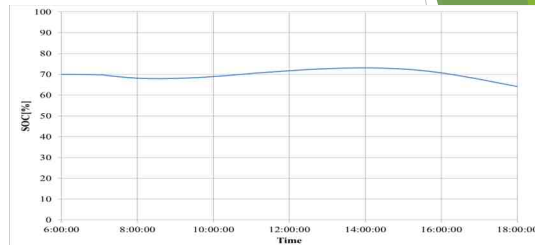
蓄電池容量:15kWh 実験開始時のSOC_{base}:70%

$$\delta = \text{SOC} / \text{SOC}_{\text{base}} \quad \delta : \text{SOC}_{\text{base}} \text{からの変動率}$$

単一グリッド時のSOC特性

MG1(7-14時)		
	SOC	δ
MAX	74.1	5.52
MIN	68.1	-2.75

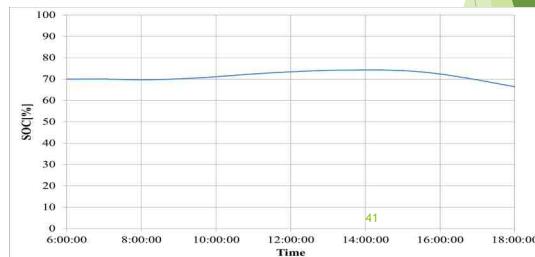
変動率幅:8.27%



融通時のSOC特性

MG1(7-14時)		
	SOC	δ
MAX	74.3	5.75
MIN	69.6	-0.50

変動率幅:6.35%



S2におけるMG2のSOC特性

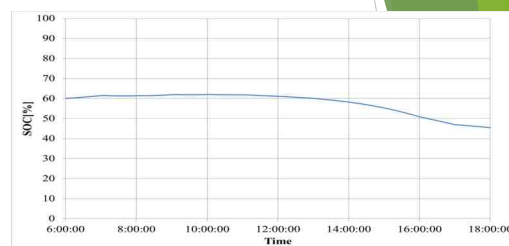
蓄電池容量:15kWh 実験開始時のSOC_{MG2_base}:60%

$$\delta = \text{SOC} / \text{SOC}_{\text{base}} \quad \delta : \text{SOC}_{\text{MG2_base}} \text{からの変動率}$$

単一グリッドのSOC特性

MG1(7-14時)		
	SOC	δ
MAX	62.0	3.24
MIN	58.2	-3.06

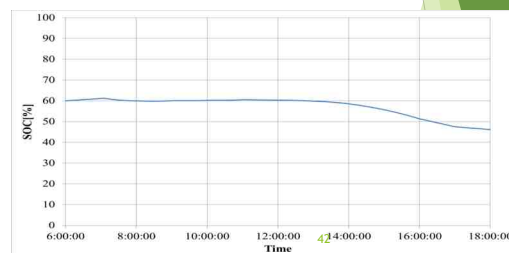
変動率幅:6.40%



融通時のSOC特性

MG2(7-14時)		
	SOC	δ
MAX	61.2	1.98
MIN	58.5	-2.50

変動率幅:4.48%



➤ 各MGのSOC変動率の変動を抑制していることを確認

実験結果

➤ シナリオ : S1, シナリオ : S2における電力融通量

	融通量[kWh]	電力融通方向
S1(8-14時)	6.98	MG2⇒MG1
S2(7-9時)	0.73	MG2⇒MG1
S2(9-14時)	1.01	MG1⇒MG2

・ 電力融通無し(単一グリッド)
蓄電池放電量[kWh]

	MG1	MG2
S1(8-14時)	9.74	-8.97
S2(7-14時)	-2.69	1.93

・ 電力融通有
蓄電池放電量[kWh]

	MG1	MG2
S1(8-14時)	2.63	-0.68
S2(7-14時)	-2.95	1.55

- ◆ S1 : 融通したことによりMG1の充電量を抑えられ、MG2の蓄電池の負担を軽減
- ◆ S2 : どちらかのMG が設定範囲内である場合では蓄電池の共用負担をし、負担を軽減

まとめ

- 直流系統を用いてマイクログリッド間を連系し、電力融通特性について検討
- 余剰電力を電力融通するシステムとそれぞれの直流系統の電圧値に応じて電力融通を行うシステムを提案し、実験を実施



各システムにおいて蓄電池の負担軽減を確認

- 直流系統の電圧値を監視し、自律的に電力を融通することで電池を共同負担し、蓄電池容量の軽減や分散型電源の稼働率向上に期待

ご清聴ありがとうございました

45