

## 第2章 研究内容報告

### 1. エネルギーマネジメントのための電力需要に関する研究

#### (1) 研究概要

近年、東日本大震災などの影響により、原子力発電所の稼働が停止状態である。そのため自然エネルギー起源の分散型電源の導入が加速化している。しかし、自然エネルギー起源の分散型電源の発電量は、天候に左右されやすく不安定であることから、火力発電所等の1次エネルギー起源の発電所は常に発電状態であり、それらの発電予備力が懸念されている。そこで電力需要を制御する取り組みとしてピークカットやピークシフト、ボトムアップなどが期待されている。本検討ではピークカットに着目しその手段としてデマンドレスポンスに着目した。しかしデマンドレスポンスの実施には、需要家における電力消費の特性を把握する必要がある。また、デマンドレスポンスを行うには需要家の電力消費特性だけでなく電気機器自体の電力特性も知る必要がある。本研究では、学内新2号館の電力需要と使用電気機器を調査し、ピーク時の消費電力量が大きい空調機を対象を絞り電力消費特性を分析すると共に、デマンドレスポンスの効果を最大限引き出すために、行動経済学に基づく消費電力削減のためのナッジを発見することを目的としている。

本年度の研究ではマルチエアコンが消費電力にどのような影響を与えているかを明確にすることができなかった。具体的には設定温度の組み合わせが何通りもあることや、複数の室内機の稼働の有無が消費電力にどのような影響を与えるかが不明であったことである。また、その他の問題点として、マルチエアコンを採用していることから人がいない部屋の消費電力も同時に測定しており、人の行動による影響と消費電力の関係性を明らかにすることが難しい。消費電力に対して直接影響を及ぼしているものが確立できていないことから、消費電力を減らすような実験を行ったとき、そのほかの影響や環境によって結果が埋もれてしまう可能性があることがあげられる。

今後の課題は複数の室内機の設定温度や稼働の有無によって消費電力にどのような影響があるかを明確にし、消費電力に直接影響を及ぼしている要素を明らかにすることと、それら要素に人の行動がどのように影響を及ぼしているのか明らかにすることである。また、今回コロナ渦で行えなかった行動経済学に基づく需要家の消費電力量を削減するためのナッジを作成し、マルチエアコンなどの電力測定の実験環境のことや空調における消費電力のモデルを踏まえた実験することで有用性を確かめることである。

本研究の最終目標は新しい省エネ対策として行動経済学を用いたエネルギーマネジメントシステムの作成をすることであると考えている。

## (2) 研究内容報告



1

## 研究背景

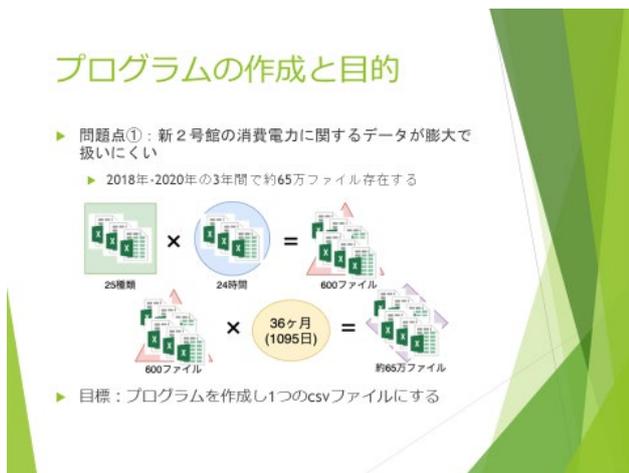
- ▶ 近年、自然エネルギーを利用した分散型電源が増加しているが天気に左右されるため不安定
- ▶ 発電量が不安定な時間に電力需要量のピーク時を迎えた場合に火力発電などの予備力を必要としている
- ▶ 需要家側の電力需要量をコントロールすることでピーク時の電力消費量を抑えたい

## 目的

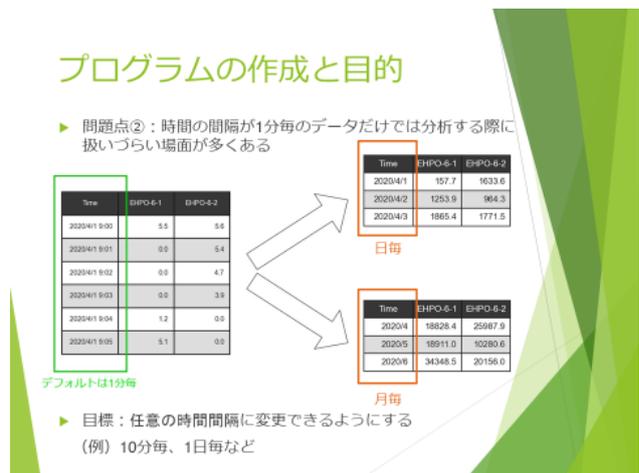
- ▶ 空調機の消費電力量を削減するために、空調機の電力特性を分析する
- ▶ 設定(設定温度)や環境(外気温、吸込温度、季節や時間帯)による消費電力の違いについて分析をする

新2号館のエアコンを対象に研究を行う

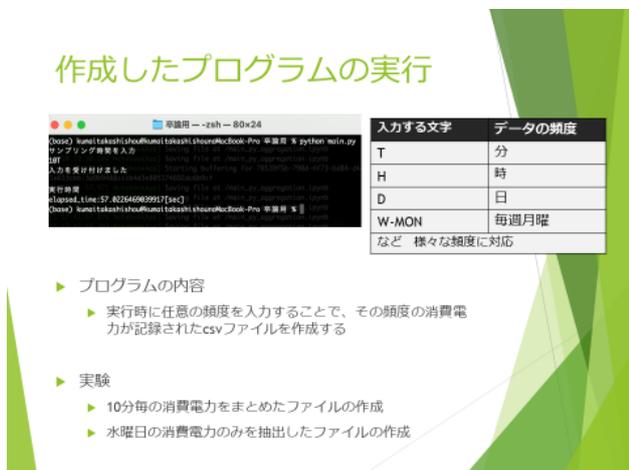
2



3



4

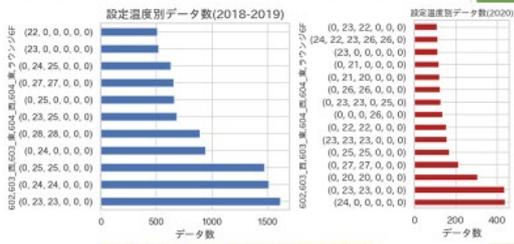


5



6

### 換気の有無による消費電力の違い



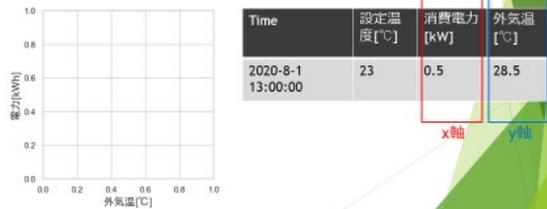
※設定温度0はエアコンが稼働していないことを意味する

2018-2019年の間に、設定温度(0, 23, 23, 0, 0, 0)のデータ数が1619  
2020年に設定温度(0, 23, 23, 0, 0, 0)のデータ数が437存在した。

7

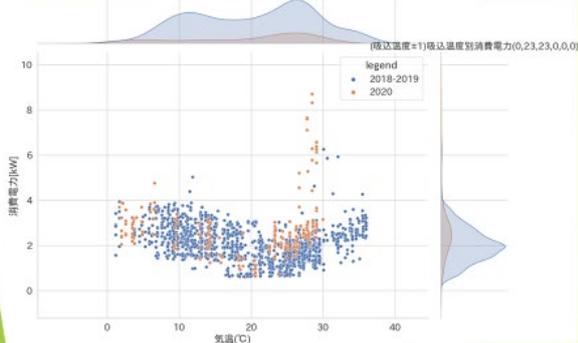
### 換気の有無による消費電力の違い

- ▶ 対象データ（雪田研究室の設定温度が23℃）の同時刻での室外機の消費電力と外気温を求め、X軸が気温、Y軸が消費電力の散布図の作成をする
- ▶ 設定温度、外気温が同じであれば消費電力は2020年が2018年,2019年と比べて高くなると予想される



8

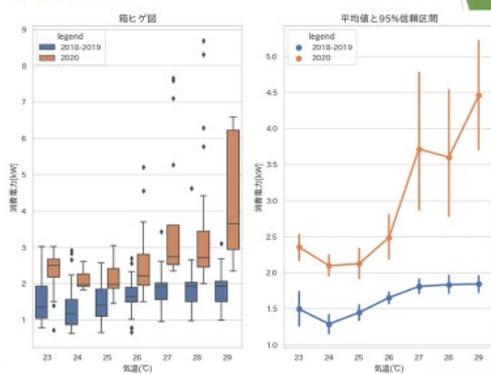
### 検証結果



2020年の室外機の消費電力は2020年以前の消費電力に比べて高い傾向にある

9

### 検証結果



10

### 消費電力と設定温度・吸込温度の関係

- ▶ 吸込温度と設定温度が離れるほど影響が出てくるのではない。

検証場所：602号室,603号室,604号室,ラウンジ

検証期間	日付	平均気温(°C)	最高気温(°C)	最低気温(°C)	稼働時間
2017/8/7(月)		27.1	30.2	24.4	00:00-24:00
2017/8/11(金・祝)		26.8	30.8	25.1	8:40-22:30
2017/8/15(火)		25.0	28.1	23.0	09:00-24:00
2017/8/16(水)		25.8	29.3	23.6	11:30-18:20
2017/8/18(金)		25.8	30.3	23.7	05:20-20:00
2019/7/1(月)		23.9	27.2	22.7	40:19:10
2019/7/2(火)		24.2	28.5	22.1	8:10-18:50
2019/7/9(火)		23.4	26.9	21.2	8:50-19:40
2019/7/11(木)		21.0	23.3	19.9	8:00-20:40
2019/7/15(月・祝)		23.4	25.9	22.2	8:00-20:50
2019/7/16(火)		23.4	25.9	22.2	8:50-20:00
2019/7/19(金)		24.8	28.8	22.1	8:40-21:10
2019/7/20(土)		25.4	28.7	23.0	8:00-18:30
2019/7/21(日)		26.1	29.4	23.4	8:00-17:30
2019/7/22(月)		24.6	26.3	23.4	7:40-20:30

気温による影響を抑える為に以上の日を選択

11

### マクロの説明

カレンダー

2019年5月

日	月	火	水	木	金	土
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17

マクロの動作

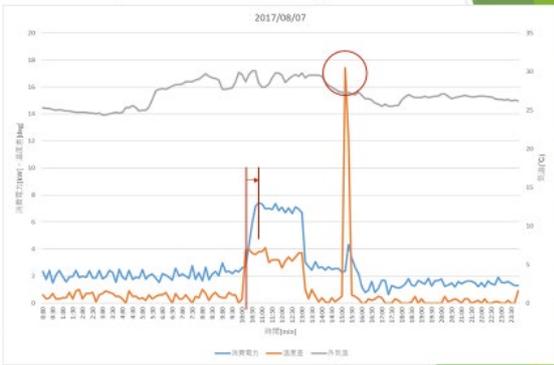
データを収集、10分単位に揃える  
設定温度と吸込温度の温度差を出す

データを集計したシートと消費電力、温度差、外気温の折れ線グラフとそれぞれの部屋の設定温度、吸込温度、温度差、外気温の折れ線グラフの作成

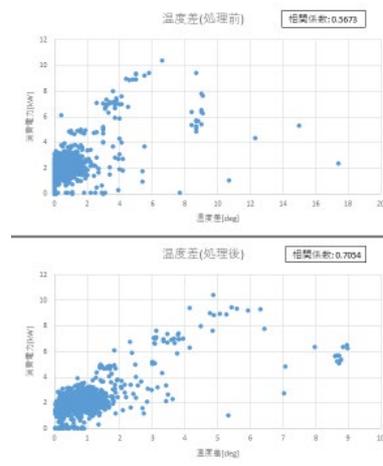
12

### 検証結果(消費電力の検証)

x軸:時間 左y軸:消費電力・温度差 右y軸:平均気温



13



x軸:消費電力  
y軸:温度差

- 稼働時間外の除外
- 外れ値の除外
- 50分移動平均

14

### 消費電力に影響を与えている要素の検証

▶ 消費電力量に直接影響しているもの

- 稼働時間 — 消費電力量は稼働時間と相関がある
- 設定温度 } 消費電力は温度差と相関がある
- 吸込温度 }

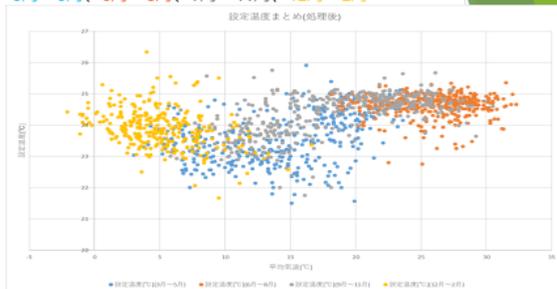
▶ 気温による影響を明確にするため3月～5月、6月～8月、9月～11月、12月～2月に分割し検証していく

▶ 検証した結果、平均気温が15℃付近で特性が変化しているように見受けられたので15℃以上、以下での検証も行った

検証場所:4F～6F 検証期間:2016年～2020年

15

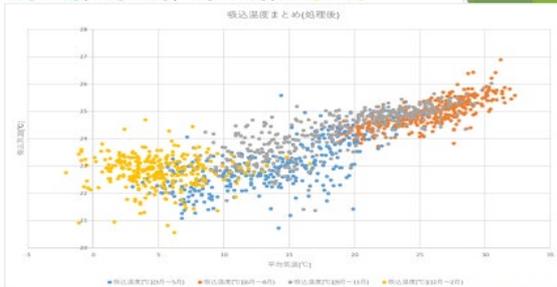
設定温度 x軸:平均気温 y軸:設定温度  
3月～5月、6月～8月、9月～11月、12月～2月



3月～5月の相関係数(処理前): 0.3592	3月～5月の相関係数(処理後): 0.3817
6月～8月の相関係数(処理前): -0.0845	6月～8月の相関係数(処理後): -0.0117
9月～11月の相関係数(処理前): 0.5792	9月～11月の相関係数(処理後): 0.6003
12月～2月の相関係数(処理前): -0.339	12月～2月の相関係数(処理後): -0.3449
15℃以上(処理後)の相関係数: 0.3815	15℃以下(処理後)の相関係数: -0.3012

16

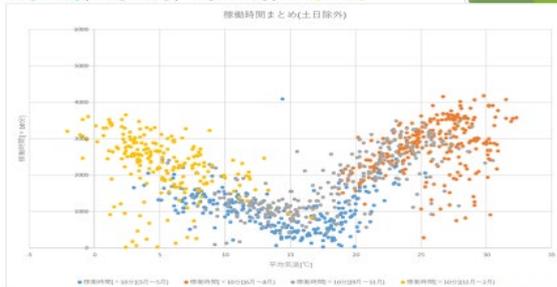
吸込温度 x軸:平均気温 y軸:吸込温度  
3月～5月、6月～8月、9月～11月、12月～2月



3月～5月の相関係数(処理前): 0.6991	3月～5月の相関係数(処理後): 0.7154
6月～8月の相関係数(処理前): 0.5100	6月～8月の相関係数(処理後): 0.7564
9月～11月の相関係数(処理前): 0.7751	9月～11月の相関係数(処理後): 0.8108
12月～2月の相関係数(処理前): -0.0277	12月～2月の相関係数(処理後): -0.0310
15℃以上(処理後)の相関係数: 0.7725	15℃以下(処理後)の相関係数: 0.2152

17

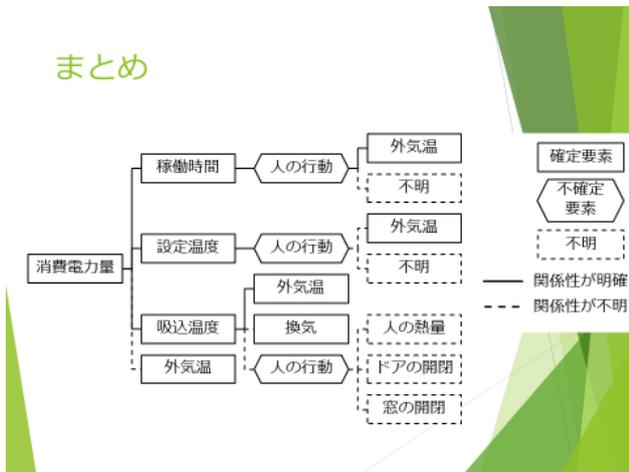
稼働時間 x軸:平均気温 y軸:稼働時間  
3月～5月、6月～8月、9月～11月、12月～2月



3月～5月の相関係数(処理前): -0.0910	3月～5月の相関係数(処理後): -0.1256
6月～8月の相関係数(処理前): 0.2695	6月～8月の相関係数(処理後): 0.3697
9月～11月の相関係数(処理前): 0.4105	9月～11月の相関係数(処理後): 0.6575
12月～2月の相関係数(処理前): -0.2160	12月～2月の相関係数(処理後): -0.3965
15℃以上(処理後)の相関係数: 0.7577	15℃以下(処理後)の相関係数: -0.7712

18

## まとめ



19

## 主な使用機器

- 固定資産登録品名：パーソナルコンピュータ（本体），資産番号：41500441
- 固定資産登録品名：WEB サーバ搭載広域分散型・遠隔計測システム，資産番号：41500444

## 2. 直流給電用特殊巻変圧器の開発に関する研究

### (1) 研究概要

近年、再生可能エネルギーや蓄電池の普及に伴い AC-DC 変換技術は必要不可欠なものである。本研究では AC-DC 変換の中でも高周波ノイズが少ないという観点からトランス方式に着目した。従来のトランス方式で出力電圧リップルを小さくするためには多相化が有効であるが、コアサイズが増加するという課題がある。そこで、本研究では特殊巻線構造でトランスのコアサイズを増加させることなく多相化した特殊巻トランスの開発を行った。本年度は、その試作を行い、効率、出力電圧リップル、高調波に関して従来方式の 6 相  $\Delta$ - $Y\Delta$  トランスと比較検討を行った。研究では、特殊巻線構造のトランスを試作し、効率と電圧リップルに関して 6 相  $\Delta$ - $Y\Delta$  トランスと比較検討を行った。その結果、特殊巻き線構造を用いることによってコアサイズを増加させることなく多相化を可能とし、従来の 6 相  $\Delta$ - $Y\Delta$  トランスと同一の効率で総合高調波を低減することが可能であることを確認した。

今後は、特殊巻を用いて多相化することにより特殊巻結線の二次側出力電圧がひずみ、整流後出力電圧リップルが大きくなるという問題や特殊巻を用いて多相化した際に第 5 次高調波が増加するという問題に関して検討を行う必要がある。

### (2) 研究内容報告

## 直流給電用特殊巻変圧器の開発に関する研究

### 研究背景と本研究の目的

#### 研究背景

・再生可能エネルギーや蓄電池の普及に伴い AC-DC 変換は必要不可欠な技術となっている。本研究では高周波ノイズが少ないという観点からトランス方式に着目した。

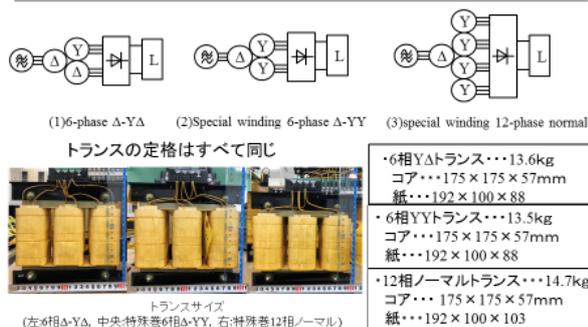
#### 問題点

・従来のトランス方式で出力電圧リップルを小さくするために多相化する場合、**コアサイズが増加しコストが高くなる**

#### 検討内容

・トランスの二次側巻線に特殊巻を用い、コアサイズを増加させることなく多相化を可能とし、従来の 6 相トランスと**同一効率で高調波や出力電圧リップルを低減する**

### 特殊巻線構造トランス仕様



特殊巻を用いることによりコアサイズを増加させることなく多相化を実現

### 特性試験①効率測定



#### 使用機器



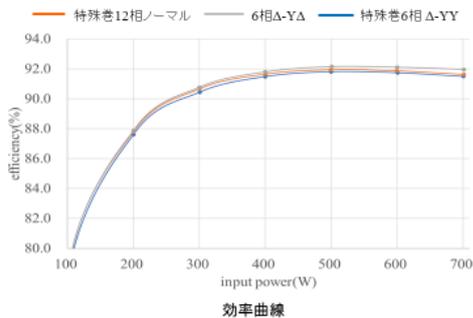
効率測定機器(PW3337)



効率測定画面(PW3337)

・多相化トランスの一次側入力電力と整流後直流電力から効率を測定した。

### 効率試験結果と効率比較



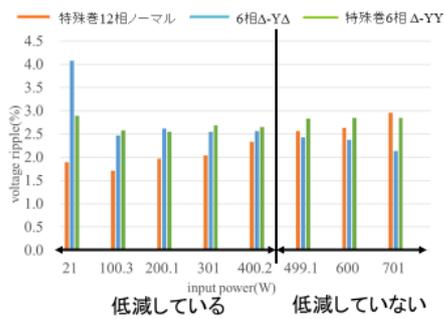
・コアサイズを増加させることなく多相化が可能であり、従来から使用されている6相Δ-YΔトランスと**同一効率となることを確認**

### 特性試験②出力電圧リップル測定



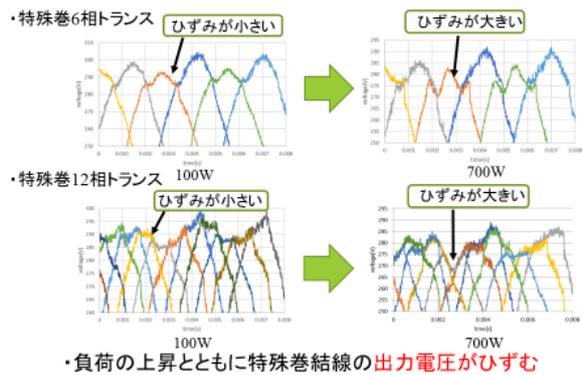
・出力電圧リップルの測定にはパワーメータを用い、整流後出力電圧のピークとピークの電圧から測定した

### 出力電圧リップル測定結果

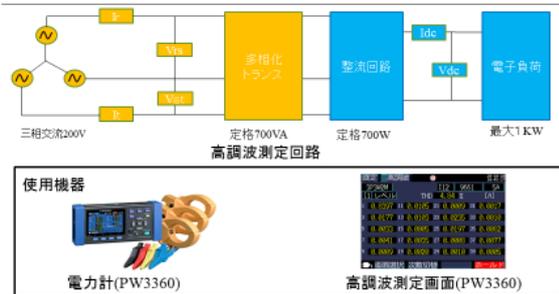


・測定結果より、重負荷時には多相化による出力電圧リップルの低減を確認することはできない。

### 出力電圧リップル比較

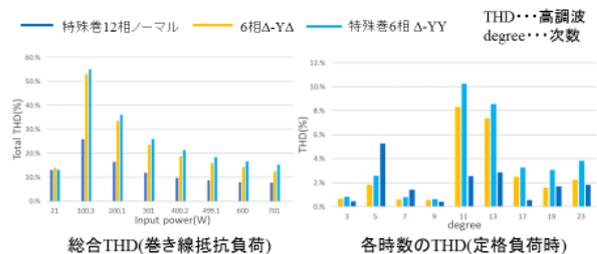


### 特性試験③高調波測定



PW3360を入力側のR相に接続し、高調波電流を計測した  
実際の負荷を想定し、負荷として電子負荷を用いて計測を行った

### 高調波測定結果 ~12相トランスと6相トランスの比較~



・6相トランスを12相トランスへと多相化することにより高調波の**低減を確認した**

・多相化により11次から23次までの高調波が低減されたために総合高調波は低減する。

## まとめ

### 目的

・トランスの二次側巻き線に特殊巻を用い、コアサイズを増加させることなく多相化を可能とし、従来の6相トランスと**同一効率**で**高調波や電圧リプルを低減する**

### 測定

・特殊巻トランスを用い効率、電圧リプル、高調波に関して測定を行った

### 結果

・二次側巻き線に特殊巻を用いることによって同一種類のコアにおいて、サイズを増加させることなく多相化し**従来と同一効率**で、**高調波の低減**を確認した。

### (3) 主な使用機器

，資産番号：41800355

- ・固定資産登録品名：クランプオンパワーロガー，資産番号：41801123
- ・固定資産登録品名：電子負荷装置（中古品），資産番号：41801384

### 3. 風力発電装置の動特性と発電効率向上に関する研究

#### (1) 研究概要

再生可能エネルギーによる発電装置が、これまでの火力発電所に代わり、電力供給の主力電源となることが期待されている。このため、離島や山岳地、大都市密集地が多い日本では、小型風力発電装置への期待も高くなりつつある。本検討では小型風力発電機の有効利用を検討するため、実機を用いて、動特性の解析と発電効率向上についての研究を行っている。イギリスの PROVEN 社が、強風地帯であるスコットランドで開発したもので、北海の風に負けない頑丈な設計とユニークな回転制御方式（ヨーニング・ピッチ角度制御）を採用しており、非常に高い安全性を誇っている。この風車は、世界各国で採用されており、特にヨーロッパでは住宅や農家などの電力源として広く利用され、その他、無人駅の電灯、アンテナ用電源などで、利用されている、実用性の高い風力発電機である。主な特徴と利用例を以下に示す。

#### [特徴]

- ・ダウンウィンド型の風車
- ・低風速域でも優れた発電性能を発揮し、風切音も小さい。
- ・ヨーニング・ピッチ角度制御を採用しており、安全性が非常に高い。
- ・各部構造や出力性能に余裕を持たせた基本設計で無理がない。
- ・軽量ブレードは、中空のポリプロピレン製で柔軟かつ頑強。
- ・耐久性が非常に高く、強風や荒天に耐える構造なので設置場所を選ばない。
- ・発電性能、耐久性、風向追従性などの点で高性能な風力発電機。

#### [利用例]

- ・本格的な独立電源システム用
- ・山岳地帯や台風直撃地域などの荒天環境の独立電源システム
- ・長期的な運用を計画する風力発電機
- ・氷雪が厳しい寒冷地域に適用可能な風力発電機

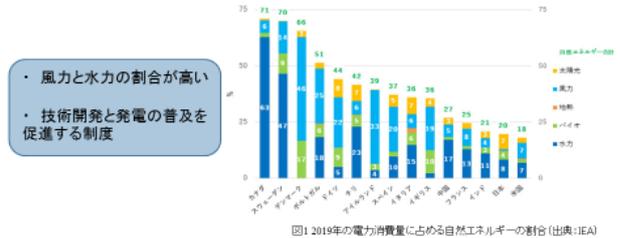
本年度の研究では、小形風力発電機を実際に稼働させ、負荷を様々に接続した際に電圧・電流及び電力値が回転数に応じてどのように変動するかを確認した。さらに、回転数が変動した場合(自然風を再現)に、鉛蓄電池を導入することで負荷に安定した電力を供給できるかの確認といった、発電機の動特性を確認する実験を行った。

(2) 研究内容報告

# 風力発電装置の動特性と発電効率向上に関する研究

## 1. 背景:再生可能エネルギーの現状

- ・日本  
水力 約8% 太陽光 約7% バイオマス 約4% 風力と地熱 約1%
- ・カナダ  
水力 約63%
- ・スウェーデン  
水力 約47%
- ・デンマーク  
風力 約46%



1

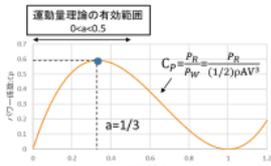
2

## 1. 背景:風車のエネルギー効率

$$C_p = \frac{P_R}{P_W} = \frac{P_R}{(1/2)\rho AV^3}$$

$C_p$ : 風車のパワー係数  $P_W$ : 風のパワー  
 $\rho$ : 空気密度 [kg/m<sup>3</sup>]  $P_R$ : 風車に取り出した機動的動力  
 $A$ : 受風面積 [m<sup>2</sup>]  
 $V$ : 風速 [m/s]

CPが大きくなるほど風力発電の発電出力性能が高いと言え、上記の計算式から風車のパワーPW は受風面積と風速の3乗に比例することがわかる。ベッツの法則では風から取り出せるパワー係数CPは最大で16/27となっている。つまり風の持っているパワーの約59.3%までは理論的には取り出せることになる。



3

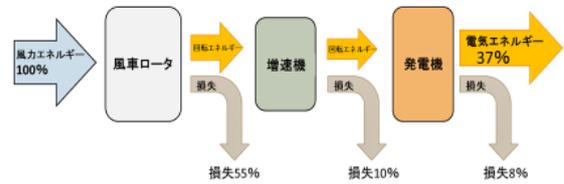
## 1. 背景:風力発電機のエネルギー変換と損失

$$\eta = C_p \eta_{gb} \eta_g$$

$\eta_{gb}$ : 増速機の損失  
 $\eta_g$ : 発電機の損失

各効率を  $C_p = 0.45$   $\eta_{gb} = 0.90$   $\eta_g = 0.92$  と仮定すると  $\eta = 0.37$  となる。風のエネルギー(PW)を100%とすると

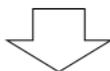
$$P_e = P_W \eta = 100 \times 0.37 = 37\% \quad \rightarrow \quad \text{損失63\%}$$



4

## 2. 目的

- ・日本に数多くある、離島や山岳地、大都市密集地などの設置に適し、また独立電源として防災時にも活躍が期待される小形風力発電機の有効利用の検討



### 本検討の特徴

- ・小形風力発電機の実機を用いて実験を行う

### 実験内容

1. 風力発電機の動特性の調査
2. 負荷追従装置を用いた発電率向上に関する検討

5

## 3. 風力発電機

○エコ電内に設置した600WタイプのSDグリーンエナジー製風力発電機

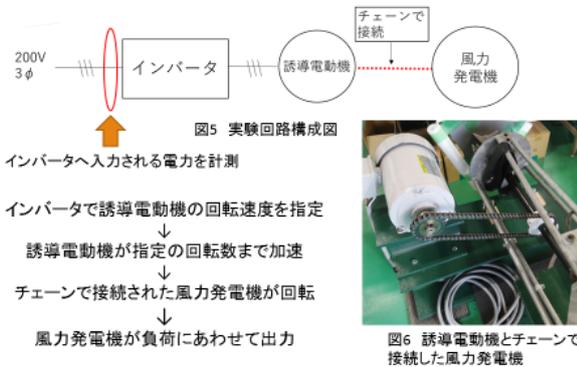
- ・特徴  
強風の場合、ブレードの形状を変化させることで、受風面積を小さくして風を逃し、回転数を調整することで発電を継続して行えるため、他の風力発電機より強風に強い
- ・発電機の特性を調べるため、ブレードは外した状態で実験を行った



図4 SDグリーンエナジー製風力発電機実験風景

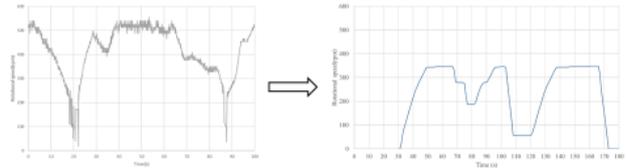
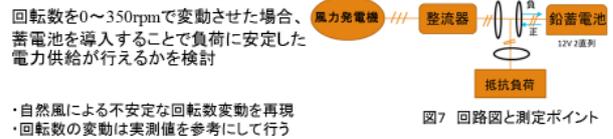
6

### 3. 小形風力発電装置の回路構築



7

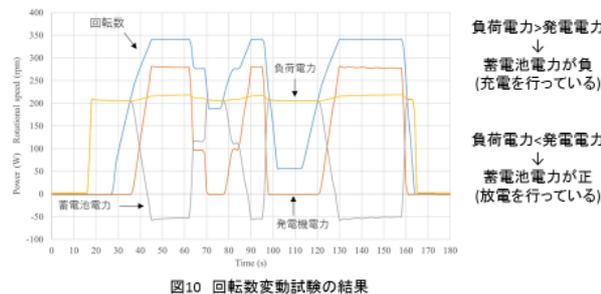
### 3. 風力発電機の動特性



8

### 3. 風力発電機の動特性の検証

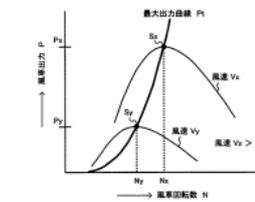
回転数の変動によって発電機電力が低下した場合でも、  
 負荷に電力を供給できている



9

### 4. 負荷追従装置を用いた発電率向上に関する検討

負荷追従装置について  
 風力発電では、ある一定風速において、  
 発電電力(風車の出力電力)が最大になる  
 回転数が存在する。



各風速ごとに最大出力となるポイントを結ぶことで、最大出力曲線が得られる。

最大出力曲線の上にのせるためには一定風速において、最適回転数になるように、  
 風力発電機から見た負荷を変動させる必要がある。

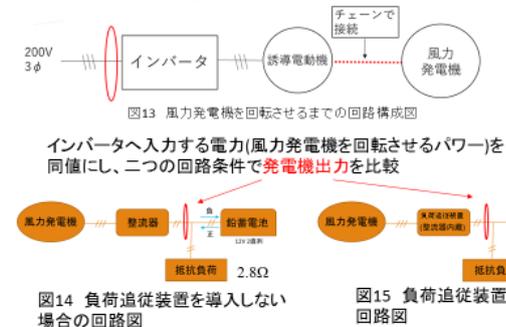
DC/DCコンバータによる、PWM制御で出力電圧を変動させ、最大電力を得られるようにしている。



10

### 4. 負荷追従装置を用いた発電率向上に関する検討

風力発電機と負荷の間に、整流器もしくは負荷追従装置を接続  
 それぞれインバータの入力電力が368Wになるように設定



11

### 4. 負荷追従装置の有無による発電状況比較

表1 負荷追従装置の有無による比較

負荷追従装置での制御なし			
インバータ入力電力	368W		
回転数	283rpm		
発電機出力(整流後)	138.06W	23.4V	5.9A
負荷追従装置での制御あり			
インバータ入力電力	368W		
回転数	370rpm		
発電機出力(整流後)	162.4W	23.2V	7.0A

電圧は蓄電池電力により24V付近で固定されているため、発電機出力電力の増加は電流の増加によって行われている

インバータへの入力電力を同じにした場合、負荷追従装置を導入することで発電機の出力電力が増加していることが確認できた。

負荷追従装置の働き: PWM制御により、発電機から見た負荷を疑似的に変動し、回転数を増加 → 発電電力を増加させた

12

12

## 5. まとめ

小形風力発電機の実験回路を構築し、動特性及び負荷追従装置を利用した発電率向上の検討を行った



### 小型風力発電機の動特性の検証

→蓄電池を導入することで、回転が低下し発電電力が減少した場合でも負荷に安定した電力供給が行えることが確認できた

### 負荷追従装置を用いた発電率向上に関する検討

→負荷追従装置の有無でデータを比較し、負荷追従装置を導入した場合、発電電力の向上を確認した

## 3) 主な使用機器

- ・ 固定資産登録品名：汎用インバータ, 資産番号：40600155
- ・ 固定資産登録品名：スコープコーダ, 資産番号：41000724
- ・ 固定資産登録品名：クランプオンプローブ, 資産番号：41201305

## 4. 配線探査装置に関する研究

### (1) 研究概要

近年、老朽化に伴いメンテナンスの実行を義務づけられ今まで以上に件数が増加している。実際の工事において起こりうる事象として配電線の誤切断が挙げられる。配電線が誤切断されてしまうと電力の供給が停止し、それが病院などで発生すると最悪の場合多くの患者の命に関わることも考えられる。そこで配電線における電力の供給の有無を確認するのに用いられるものとして配線路探査器が挙げられる。現在、配線やケーブルを探査する機器はすでにいくつか市販されている。先行研究より市販の探査器によってはインバータ機器などのノイズによる影響を受け、探査精度に影響がおよぶ事が明らかとなっている。これは、探査周波数とノイズの周波数が等しいことに起因している。そこで本研究は、ノイズを含んだ送信信号を判定するためにFFTを用いた信号判定機能、ノイズを避けるための機能として周波数切替機能、探査周波数を切替るための機能として通信機能を提案する。探査周波数を切り替えることでノイズが多い場所でも探査可能な配線路探査器の開発を目的としている。

本年度の研究では、探査周波数を切り替えることでノイズが多い場所でも探査可能な配線路探査器を開発し、市販の配線路探査器との比較評価を実施した。主な内容は以下の通りである。

#### ①搭載機能の提案

- ・FFTを用いた信号判定機能 ノイズを含んだ送信信号を判定するためにFFTを用いた信号判定機能を提案しそれを可能とした。

- ・探査周波数切替機能 ノイズを避けるための機能として周波数切替機能を提案しそれを可能とした。

- ・通信機能 探査周波数を切替るための機能として通信機能を提案しそれを可能とした。

②周波数手動切替型配線路探査器の開発 探査周波数を使用者が手動で切替る周波数手動切替型配線路探査器を開発した。これによって使用者が任意で探査周波数を選択することを可能とした。

③周波数自動切替型配線路探査器の開発 探査周波数を探査器が自動で切替る周波数自動切替型配線路探査器を開発した。これによって使用者が探査周波数を切替る手間を省くことを可能とした。

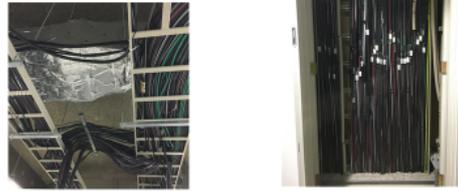
④模擬探査実験 今回開発した配線路探査器が実線で使用するために必要な3つの機能を持ち合わせているか確認するために行った。これによって3つの機能が正常に動作していることを確認した。

⑤実配線における探査検証結果 今回開発した配線路探査器で正確な探査が可能か、また市販器と比較してどのような性能の差があるか確認した。これによって市販器で探査できなかった場合でも、今回開発した手動切替型、自動切替型の探査器では正確な探査を確認した。

(2) 研究内容報告

## 配線探査装置の開発

### 1.研究背景



電源線や通信線などの多条のケーブルが長さ数十～数百メートルで複雑に布設されている

改修工事の実施時

- ➡ 各ケーブルの行き先や経路を把握する必要がある
- ➡ 配線路探査器の使用

1

2

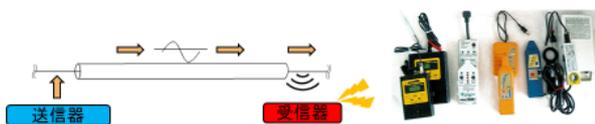
### 1.研究背景

配線路探査器:新設・改修工事およびメンテナンスや不具合時の配線確認に使用されている

ケーブル誤切断の防止

ブレーカ誤操作の防止

配線状況の再確認

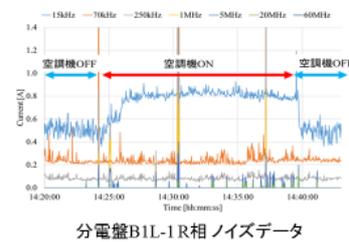


3

### 1.研究背景

先行研究

- ・ インバータ機器のノイズによる影響を受け、探査精度に影響がおよぶ



空調機の動作に伴って15kHz帯域のノイズが増加  
↓  
空調機動作にともなって探査不可

4

### 1.研究背景

対象とする任意のケーブルの行き先や経路を特定するためには？

正確で確実な探査性能が求められる



探査周波数が切り替え可能な探査器の開発

検討内容

1. 信号判定機能(FFT)
2. 通信機能
3. 探査周波数自動切替機能

5

### 2.周波数切替型配線路探査器

1.1)配線路探査器開発の流れ

1.周波数手動切替型配線路探査器

搭載機能

- ・ 信号判定機能(FFT)
- ・ 通信機能

使用者が探査周波数を切替

2.周波数自動切替型配線路探査器

搭載機能

- ・ 信号判定機能(FFT)
- ・ 通信機能
- ・ 探査周波数自動切替機能

探査器が探査周波数を切替

6

## 2.周波数切替型配線路探査器

### 1.2)探査器本体



図1. 受信器の外観

名称	M5Stack
動作電源[V]	5~5.5V
クロック[MHz]	160MHz(最大240MHz)
SRAM[KB]	520KB
フラッシュメモリ[MB]	4MB(最大64MB)

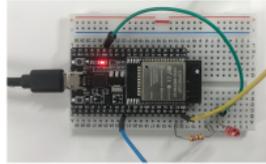


図2. 送信器の外観

名称	ESP-WROOM-32
動作電源[V]	5V
クロック[MHz]	160MHz(最大240MHz)
SRAM[KB]	520KB
フラッシュメモリ[MB]	4MB(最大64MB)

## 2.周波数切替型配線路探査器

### 2.1)配線路探査器(手動切替)の全体図



図3. 配線路探査器(手動切替)の全体図

#### 探査の流れ

- 1)FFT結果のグラフ表示
- 2)周波数選択(矩形波出力)
- 3)FFT結果表示(最大値表示)

## 2.周波数切替型配線路探査器

### 2.2)配線路探査器(手動切替)送信器



Square Wave  
5kHz10kHz  
15kHz20kHz  
25kHz33kHz

波形出力

図4. 波形選択画面



図5. 33kHz時の矩形波

図6. 5kHz時の矩形波

## 2.周波数切替型配線路探査器

### 2.3)配線路探査器(手動切替)受信器

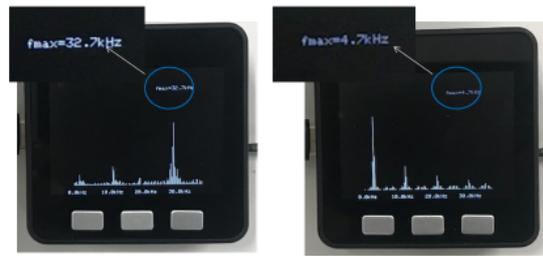


図7. 33kHz選択時FFT

図8. 5kHz選択時FFT

## 2.周波数切替型配線路探査器

### 3.1)配線路探査器(自動切替)の全体図



#### 探査の流れ

- 1)FFT結果のグラフ表示
- 2)値の送信
- 3)周波数自動切替(矩形波出力)
- 4)FFT結果表示(最大値表示)

## 2.周波数切替型配線路探査器

### 3.2)配線路探査器(自動切替)送信器

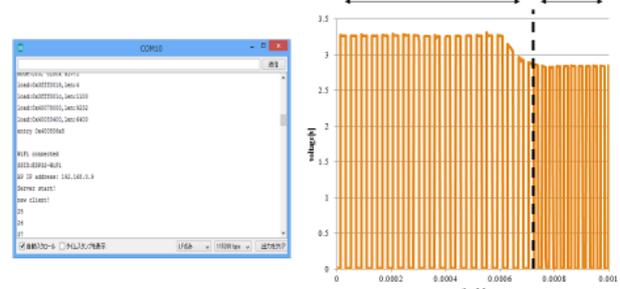


図10. 一番振幅が小さい時の数値

図11. 送信器の出力波形

## 2.周波数切替型配線路探査器

### 3.3)配線路探査器(自動切替)受信器

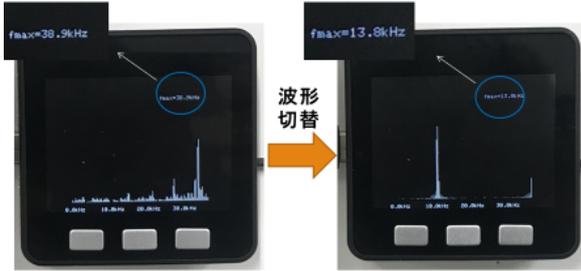
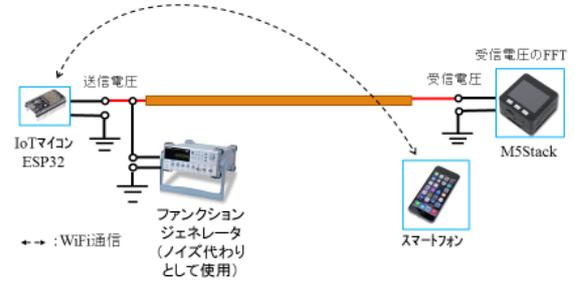


図12. 39kHz選択時FFT

図13. 14kHz選択時FFT



13

14

## 3.実験内容

### 1.1)模擬探査

#### 1.1.2)ノイズ31kHz時の探査結果(手動切替)



図14.ノイズFFT結果画面

図15.送信信号とノイズFFT結果

15

## 3.実験内容

### 1.1)模擬探査

#### 1.1.3)ノイズ6kHz時の探査結果(手動切替)



図16.ノイズFFT結果画面

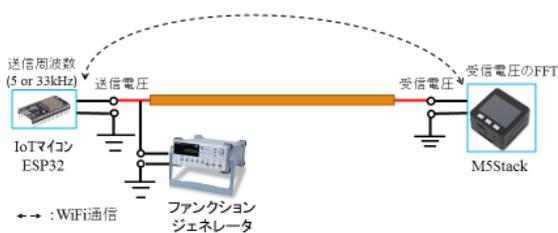
図17.送信信号とノイズFFT結果

16

## 3.実験内容

### 1.1)模擬探査

#### 1.2.1)配線図(自動切替)



17

## 3.実験内容

### 1.1)模擬探査

#### 1.2.2)ノイズ31kHz時の探査結果(自動切替)



図18.ノイズFFT結果画面

図19.送信信号とノイズFFT結果

18

### 3.実験内容

#### 1.1)模擬探査

#### 1.2.3)ノイズ6kHz時の探査結果(自動切替)



図20.ノイズFFT結果画面

図21.送信信号とノイズFFT結果

### 3.実験内容

#### 2.1)実配線における探査検証

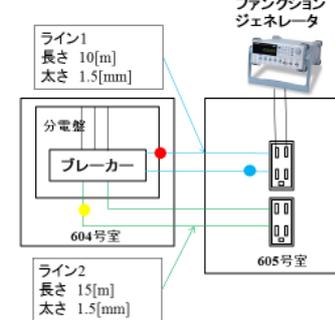


図22.実験回路図



### 3.実験内容

#### 2.1)実配線における探査検証



市販器

表1 市販器仕様

探査器	市販器
判定方法	LED点滅 ブザー断続音
送信側端子	ワニ口クリップ100Vプラグ コード付き
受信器端子	非接触・クランプ
探査周波数	5kHz

### 3.実験内容

#### 2.2)判定結果(市販器)

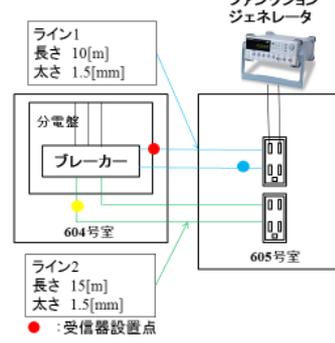


表2 探査結果

探査器名称	市販器			
	有	有	無	無
ノイズ有無	有	有	無	無
探査経路 (ライン)	1	2	1	2
判定結果	×	△	○	△

●:送信器設置点 ●:受信器設置点 ○:受信あり △:受信なし ×:判定不可

### 3.実験内容

#### 2.3)判定結果(手動切替型)

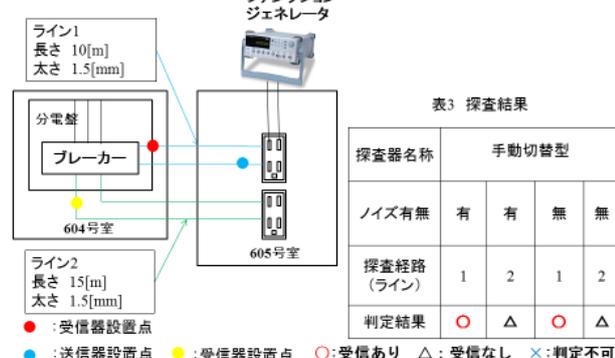


表3 探査結果

探査器名称	手動切替型			
	有	有	無	無
ノイズ有無	有	有	無	無
探査経路 (ライン)	1	2	1	2
判定結果	○	△	○	△

●:送信器設置点 ●:受信器設置点 ○:受信あり △:受信なし ×:判定不可

### 3.実験内容

#### 2.3)判定結果(自動切替型)

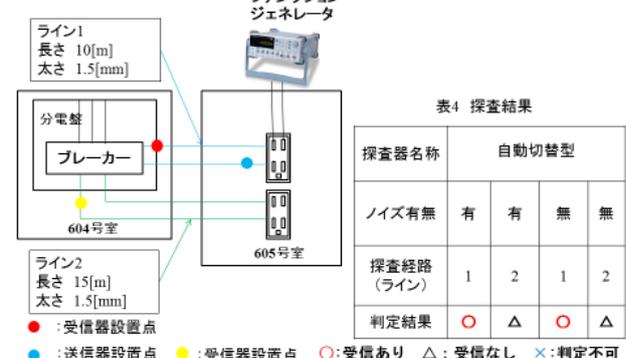


表4 探査結果

探査器名称	自動切替型			
	有	有	無	無
ノイズ有無	有	有	無	無
探査経路 (ライン)	1	2	1	2
判定結果	○	△	○	△

●:送信器設置点 ●:受信器設置点 ○:受信あり △:受信なし ×:判定不可

### 3.実験内容

#### 3.1)実験結果とまとめと考察

表4 探査結果まとめ

探査器名称	市販器				手動切替型				自動切替型			
	有	有	無	無	有	有	無	無	有	有	無	無
ノイズ有無												
探査経路 (ライン)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
判定結果	×	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△

○:受信あり △:受信なし ×:判定不可

25

### 4.まとめ

#### 4.1)検討内容とまとめ

##### 本検討の内容

正確な探査を可能にするために

- 1.信号判定機能(FFT)
- 2.通信機能
- 3.探査周波数自動切替機能

を搭載した周波数切替型配線路探査器の開発



市販器で探査できない場合でも正確な探査が可能である探査器の開発ができた

26

### 4.まとめ

#### 4.2)今後の提案

##### 提案の内容

活線で長距離の場合の探査を可能にするために

- 1.送信器にオペアンプ（非反転加算回路）を追加
- 2.受信器の前に抵抗を追加

上記の2点を追加した周波数切替型配線路探査器の開発



活線で長距離の場合でも正確な探査が可能である探査器が開発できる。

27

### (3) 主な使用機器

，資産番号：41001381

- ・固定資産登録品名：マルチファンクションジェネレータ，資産番号：41800250
- ・固定資産登録品名：デジタルマルチメータ DT4281，資産番号：41901439

## 5. 直流漏電検出装置に関する研究

### (1) 研究概要

近年、人間の生活や経済活動によって地球環境に大きな影響を及ぼしている。例として地球温暖化やフロンガスによるオゾン層の破壊等が挙げられる。その対策として、太陽光発電や風力発電といった自然を利用する発電方式の普及が進んでいる。太陽光発電は直流で発電するため、交流に変換せずに使用することで変換ロスを抑えられる。このことから、直流給電が注目されている。しかし、直流は回路を保護するのが困難であるため、保護システムの開発が急がれている。そこで本研究では、直流の漏電検出の装置の開発を目的としている。

漏電検出方式には、中間点高抵抗接地方式、低周波交流注入方式、零相電流監視方式などがあり、本年度の研究では零相電流監視方式を応用している。この方式は ZCT を用いている。ZCT は貫通している 2 本の電線間で電流差が発生した時に電圧を出力する特性がある。ZCT の特性を利用し、直流漏電検出部 (ZCT) と ZCT 出力制御部、制御部のマイコンで構成される直流漏電検出装置を製作した。

### (2) 研究内容報告

## 直流漏電検出装置の開発 に関する研究

### 1. 研究背景

地球温暖化問題が深刻化

自然を利用する太陽光発電などの再生可能エネルギーの普及

太陽光発電で得られる電力は直流であり、直流で給電すれば電力ロスを最小限に抑えることができる

直流給電普及を見越して、より高性能な直流漏電検出器の開発を目指す

### 2. 漏電検出回路

漏電検出方法の例

図 零相電流監視方式

平常時  $I_+ = I_-$   
漏電発生時  $I_+ \neq I_-$

今後、直流ブレーカーに組み込むことを想定するとこの方式を応用する必要がある。  
他には中間点高抵抗接地方式、低周波交流注入方式など...

### 2. 漏電検出回路

漏電検出ユニット (電子回路) について

写真 1 (昨年度作成した回路)

写真 2 (今年度作成した回路)

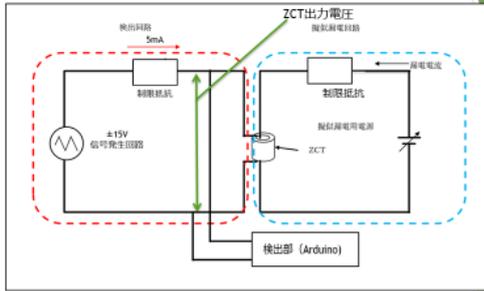
マイコンを PIC ではなく Arduino に変更

(昨年使用した PIC24FJ64GA002)

(今年度使用した ArduinoESP12)

## 2.漏電検出回路

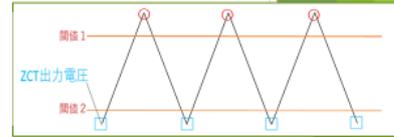
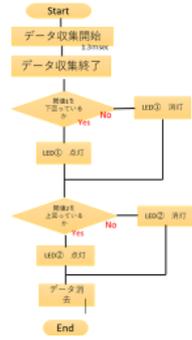
実験回路



5

## 3.検出プログラム

フローチャート



○・・・最大値  
□・・・最小値

閾値は人体保護のため30[mA]相当で設定

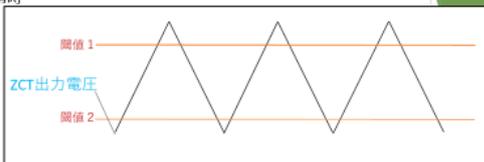
閾値1を波形の頂点（最大値）が下回る  
・・・LED①点灯

閾値2を波形の頂点（最小値）が上回る  
・・・LED②点灯

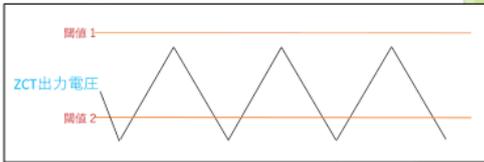
6

## 3.検出プログラム

閾値と出力電圧の関係性について  
平常時



正極側漏電時 (LED①点灯)

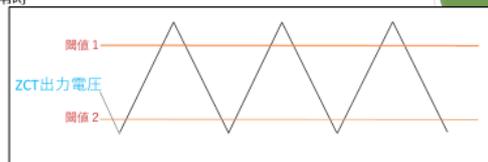


正極側漏電時は最大値が閾値1を下回ったらLED①を点灯

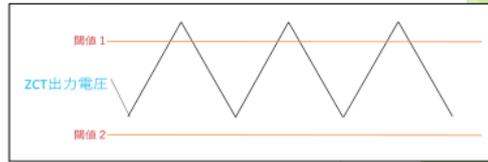
7

## 3.検出プログラム

閾値と出力電圧の関係性について  
平常時



負極側漏電時 (LED②点灯)

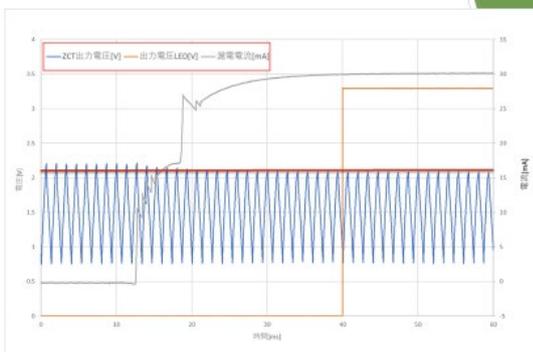


負極側漏電時は最小値が閾値2を上回ったらLED②を点灯

8

## 4.実験結果

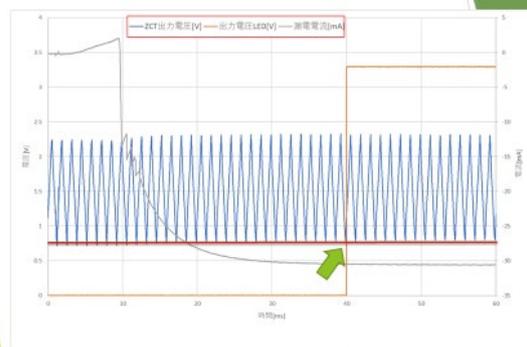
正極側漏電時



9

## 4.実験結果

負極側漏電時



10

## 5.まとめ

検出速度の速さや、漏電電流を調整することができる  
検出器の回路とプログラムを作成することができた。

今後は、この実験結果と回路を基に  
大学内で実証試験を行い、  
精度や、問題点を抽出していく。



11

### (3) 主な使用機器

，資産番号：41001381

- ・固定資産登録品名：電力計測データロガーセット(ケーブルなど，資産番号：40800824
- ・固定資産登録品名：デジタルマルチメータ DT4281，資産番号：41901439

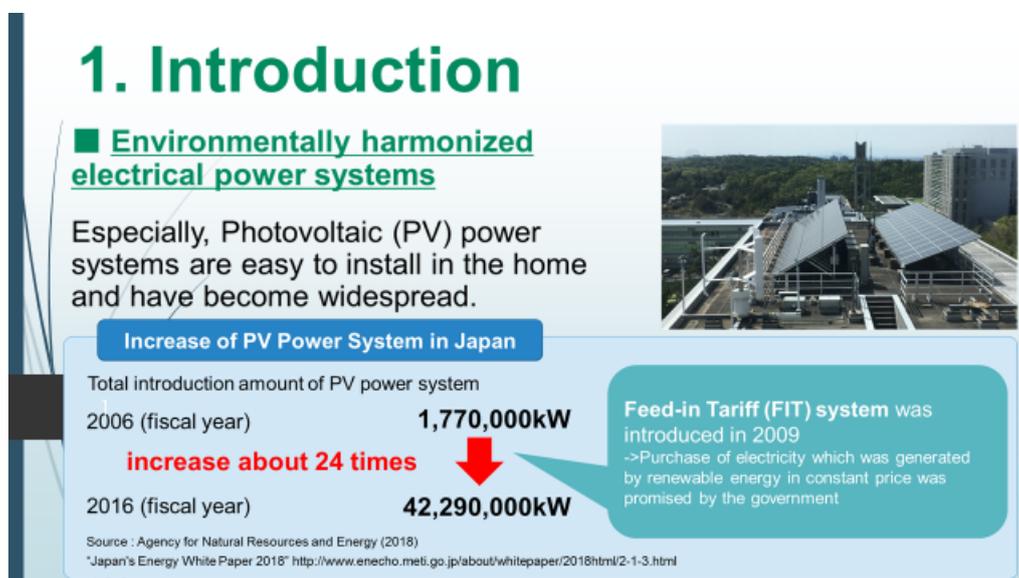
## 6. 配電系統における電圧変動に関する研究

### (1) 研究概要

近年、再生可能エネルギーを利用した分散型電源は、エネルギーに関するさまざまな社会的状況から注目を集めており、各国で導入量が増加している。これらは、発電出力が自然環境や天候に大きく依存するため、安定した出力が得られにくいというデメリットが存在する。対策としては、変動する電源である自然エネルギーと蓄電池を組み合わせることで出力の変動を抑えることが挙げられる。しかし、蓄電池は高価であり、家庭用としての導入は特にコスト面で難しい。一方、自動車業界では、環境規制に対応するため、電気自動車（EV）やプラグインハイブリッド車（PHV）が市場で増加している。蓄電池はEVやPHVに搭載されているため、EV電源（EVPS）を介して蓄電池として利用する方法について様々な提案がなされている。したがって、EV電源装置とEVの組み合わせにより、EVに搭載された蓄電池の充放電による分散型電源の出力変動を抑えることができると考えられている。しかし、EVを電力用蓄電池として使用する場合、これまでの研究から、通常の蓄電池よりも電力変動を追跡しにくいという問題が明らかになった。

本研究では、太陽光発電の出力電力の変動を抑える方法として、PVモジュールと並列容量のコンデンサを接続することを提案する。また実際の電気自動車と電力システムを用いて、コンデンサありとなしのそれぞれの電圧変動と周波数変動を調査した。その結果、コンデンサを導入することで、給電電力の変動やEVの系統変動が緩和され、変動抑制が可能であることを確認した。

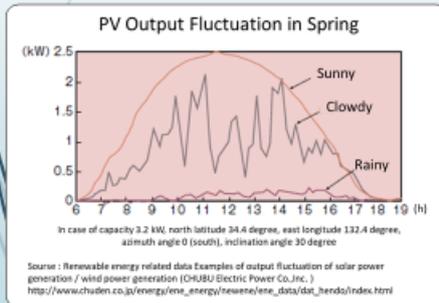
### (2) 研究内容報告



# 1. Introduction

## ■ Output Fluctuation of Photovoltaics

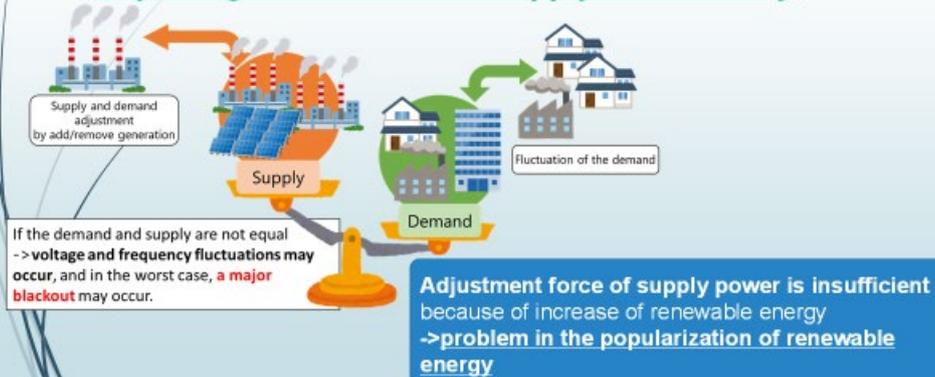
The output power of renewable energy is affected by weather conditions, it is difficult to get stable output.



This kind of power fluctuation cause imbalance of demand and supply.

# 1. Introduction

## ■ Adjusting of demand and supply of electricity



# 1. Introduction

## Power Storage Battery for household

### One example of a Household Power Storage Battery

Type : LJ-SF50B  
 Charging capacity : 5kWh  
 Maximum output : 1,500VA  
 Input/output voltage : AC100V  
 Suggested retail price : 1,280,000 JPY  
 (≒11,800 USD)  
 (Subsidy is available : 20,000 JPY per battery capacity 1 kWh)



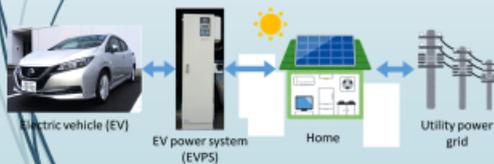
Power storage battery is very expensive, thus introducing battery in general household is difficult in terms of space and cost.

# 1. Introduction

## Electric Vehicles (EV)

Electric vehicles (EV) which mounts large-capacity batteries are introduced into the market to satisfy environmental regulations.

They can be used as a substitute of power storage battery by using EV power system (EVPS).



- EV is cheaper than household storage batteries in price per battery capacity
- EV has the utility value as a car

-> Introducing EV in general households is easier than power storage batteries

# 1. Introduction

## EV as power-storage device

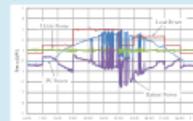
When EV is used as a power storage device, the response to power fluctuation is inferior to that of power storage batteries due to problems such as communication speed between EVPS and EV.

→Affects the power quality

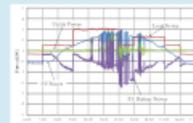
We propose to connect a capacitor with adequate capacity in parallel with the PV module as a method to suppress the fluctuation of the output power of PV power system.  
→EVPS might be easier to follow power fluctuations

### Previous study

Day load curves of microgrid



Case 1 : when stationary storage battery is used



Case 2 : EV is used as a battery

When EV is used as a battery, the system is incapable of responding to rapid changes in PV output, and it leads to fluctuations in the power obtained from the grid.

# 1. Introduction

## EV as power-storage device

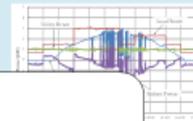
When EV is used as a power storage device, the response of power as comm...  
→Affect

We propose a capacitor method to suppress the fluctuation of the output power of PV power system.  
→EVPS might be easier to follow power fluctuations

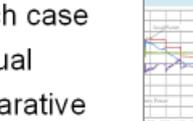
### In this study...

We examined the voltage fluctuation in each case with and without capacitor by using the actual vehicle and EV power system, and a comparative study was conducted.

Day load curves of microgrid



Case 1: stationary storage battery is used

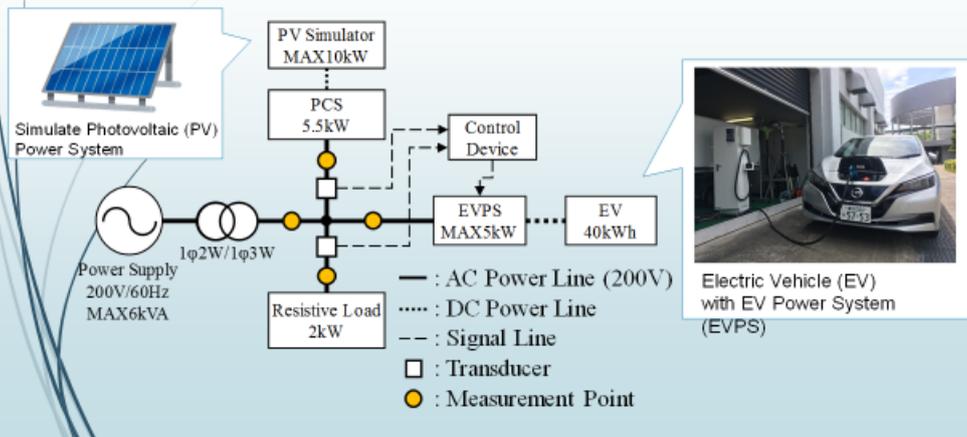


Case 2: EV is used as a battery

the system is incapable of responding to rapid changes in PV output, and it leads to fluctuations in the power obtained from the grid.

Source : M.Koyama, T.Takeda, K.Yukita, Y.Goto, K.Ichiyanagi, and Makoto Ueda "Charge/Discharge control of electric/plug-in hybrid automobile for Microgrid", GRAND RENEWABLE ENERGY 2014, P.16-53

## 2. Experimental Method



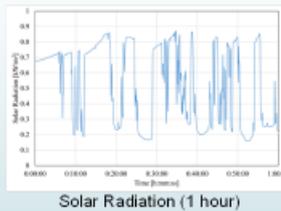
## 2. Experimental Method

### PV Simulator

Rated Output Power : 10kW

Simulated Parameter of PV module

Maximum Output Power	4320 W
Open Circuit Voltage	Voc 278.0 V
Short Circuit Current	Isc 19.44 A
Voltage at Maximum Power Point	Vpm 236.4 V
Current at Maximum Power Point	Ipm 18.27 A



### Power Conditioning System (PCS)

Type : OMRON KP55M-J4

Max Input Voltage : DC400V

Rated Output Power : 5.5kW

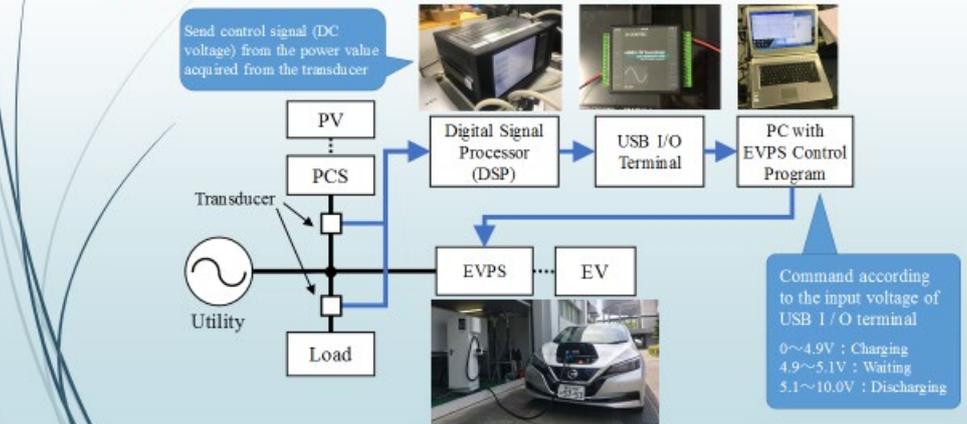
Rated Output Voltage : AC202V

Rated Output Current : AC27.5A



## 2. Experimental Method

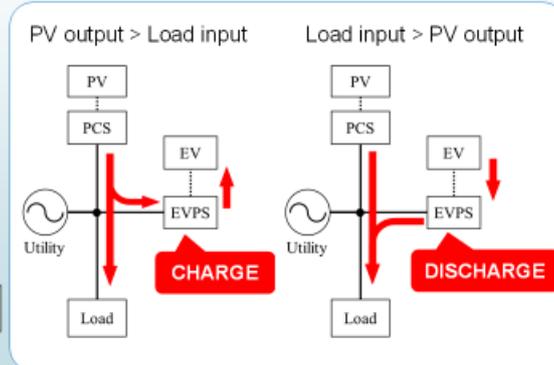
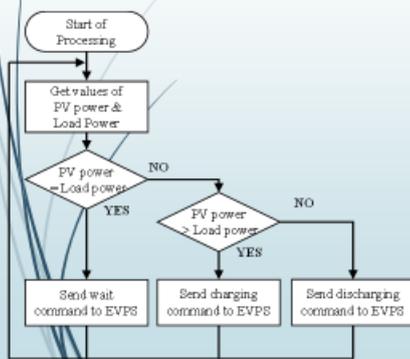
### Creating a control device & program



## 2. Experimental Method

11

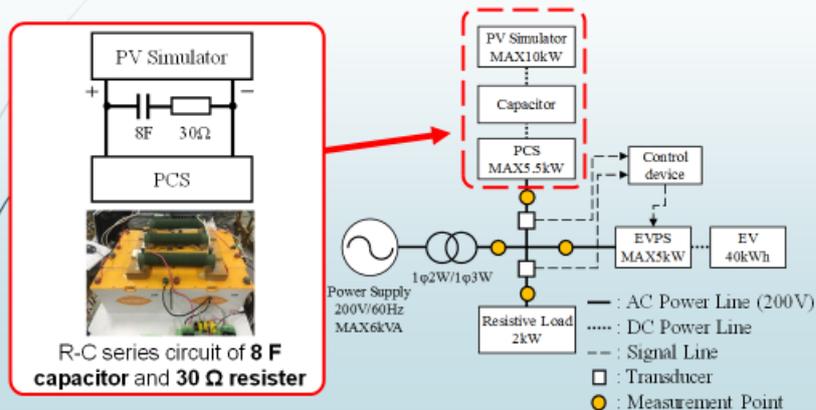
### Control Logic



## 2. Experimental Method

12

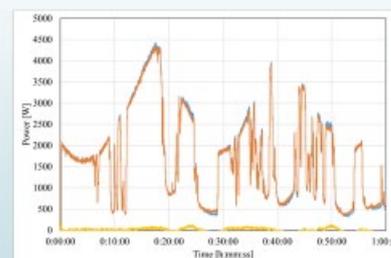
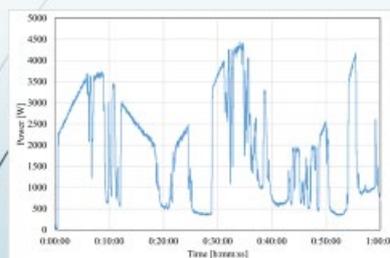
### System Configuration with the Added Capacitance



## 3. Experimental Result

13

### Time Change of DC Power

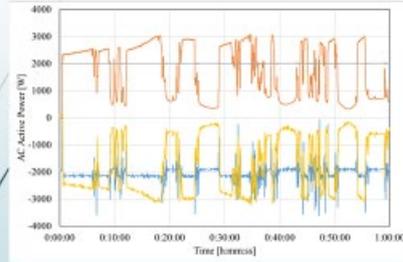


— PV output — PCS input — Difference

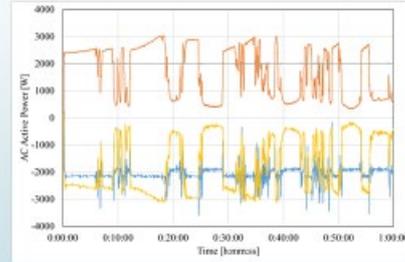
# 3. Experimental Result

14

## Time Change of AC Active Power



With EVPS  
(without capacitor)



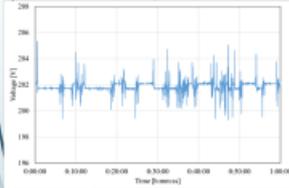
With capacitor (8 F)

— Utility (+:Receive -:Reverse flow) — PCS — Load — EVPS (+:Discharge -:Charge)

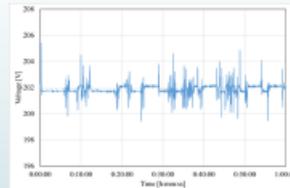
# 3. Experimental Result

15

## Load Voltage Fluctuations



Without capacitor



With capacitor (8 F)

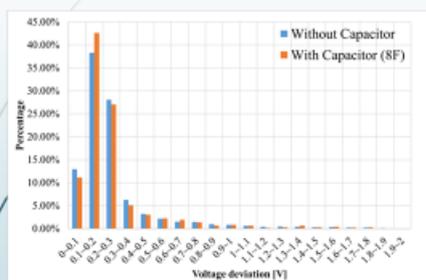
Coefficient of variation		
	Without Capacitor	With Capacitor (8F)
Load Voltage	0.220%	0.217%
Solar Radiation	48.037%	

When the capacitor is present, the fluctuation in the grid voltage waveform is clearly smaller  
 → The output fluctuations were became softer, and the EVPS is more likely to follow the PV fluctuations.

# 3. Experimental Result

16

## Distributions of Load Voltage Deviation

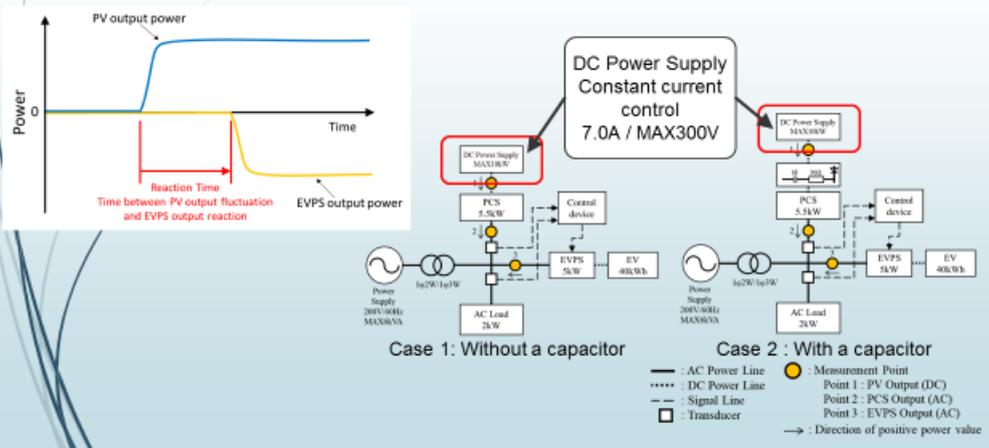


Rate of Load Voltage Deviation

Difference from Average	Without EV	Without Capacitor	With Capacitor (8F)
±0.5V	8.33%	88.81%	88.92%
±1.0V	21.52%	95.81%	96.00%
±2.0V	93.67%	99.11%	99.25%

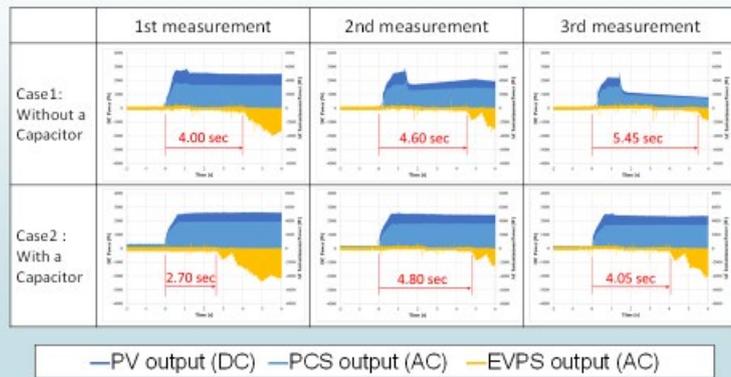
In case with EVPS, voltage fluctuation is clearly smaller  
 → voltage fluctuations are smoothed out by the capacitor

## 4. Measurement of Reaction Time



## 4. Measurement of Reaction Time

### Measurement Result



## 4. Measurement of Reaction Time

	Case1: Without a Capacitor [sec]	Case2 : With a Capacitor [sec]
1st measurement	4.00	2.70
2nd measurement	4.60	4.80
3rd measurement	5.45	4.05
Average	4.683	3.850

→ In case with capacitor, the response time was shorter than without capacitor

## 5. Conclusion

This study proposed a method for improving the power quality on a load by connecting a capacitor between the PV module and the PCS.



By introducing this capacitor, it was confirmed that an EVPS, which generally has a slow control cycle, becomes better capable of following power fluctuations, thereby improving the power quality on the load.

## 5. Conclusion

### Future studies

- ◆ Consider voltage and frequency fluctuations when the load is varied
- ◆ The system operation when the capacitor is placed at other points in the circuit
- ◆ Changes in the control block.

### (3)主な使用機器

(工事・調整費含む, 資産番号 : 40601116)

- ・固定資産登録品名 : EV 用給電器, 資産番号 : 41301335
- ・固定資産登録品名 : 大容量電源・電子負荷装置, 資産番号 : 40700444
- ・固定資産登録品名 : マイクログリッドシステムシュミレータ制御・計測, 資産番号 : 40601117
- ・固定資産登録品名 : DSP 高速演算処理装置, 資産番号 : 41601240
- ・固定資産登録品名 : スコープコーダ, 資産番号 : 41000724

## 7. 系統事故時における発電機の動特性に関する研究

### (1) 研究概要

太陽光発電の大量導入に伴い、電力系統に広域かつ大量に連系された場合において、電力系統の外乱によりこれらの分散型電源が一斉に解列すると、周波数、電圧、安定度の維持が懸念される。この対策として、故障運転継続 (Fault Ride Through : FRT) 要件が規定されている。系統事故時に短時間に電圧レベルが急激に低下したり、周波数が変動する擾乱が発生したりする場合がある。そのような状況にも電源が停止せず運転継続できることを FRT と呼ぶ。従来、太陽光発電 (Photovoltaic : PV) などの再生可能エネルギー (Renewable energy : RE) は、電力系統の瞬時電圧低下 (瞬低) 時に運転停止することを許容されていたため、RE が大量普及すると瞬低時の RE 一斉停止により、電力系統の電圧・周波数・安定度の維持に影響を与えることが懸念されていた。この対策として、瞬低時に RE の運転を継続する FRT 機能が重要となるため、2012 年 8 月の系統連系規程の改定に合わせて FRT 要件が規定された。

この FRT 要件は、近年分散型電源のみならず大型発電所に対しても要求されつつある。このため、発電所内に存在する発電機においても、高度な制御手法や臨界故障除去時間 (Critical Clearing Time : CCT) の正確な把握が必要となる。しかし、大容量機の実機データを取得することが難しく、大容量機の解析モデルの適切性の評価も困難である。そのため、大容量機の挙動を模擬できる小容量模擬送での実際の発電機モデルに近い条件での検証を目的として、小容量模擬送への励磁装置(自動電圧調整器(AVR), 系統安定化装置(PSS)), 調速機(GOV)の組み込みを行い、実測データの取得し、小容量模擬送と同等の解析モデルを作成し、実測データと解析データの比較を行うことで、解析モデルの適切性の追及をしている。

### (2) 研究内容報告

#### 模擬送による同期機FRT特性の検討

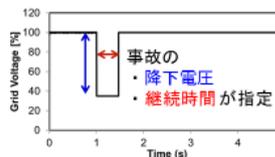
#### 1. 研究の背景 -解析適切性の必要性-

##### ◎研究背景

- 近年、同期発電機単機大容量化 (例. 4極1, 500, 000kVA超) が進み系統安定に対する**寄与が大きくなってきている**

- 系統安定の要求として、Grid Code (系統連系要件) 主要仕様としてFault Ride Through (FRT)

**: 送電線事故時のプラント出力維持能力**



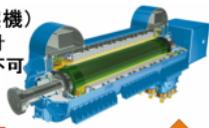
発電機至近端での事故に対し、復帰後もプラントが**運転継続**

- 解析にて過渡安定度の評価
- ↓
- 解析モデルの**適切性**を確認

### 1. 研究の背景 -解析適切性の必要性-

#### ◎大容量発電機 (実機)

- ・ FRT仕様考慮の設計
- ・ 事故時の挙動検証不可



大容量機の挙動を検証するため大容量機の構成を**模擬**する



1500MVAクラス  
FRT解析適切性確認



#### ◎小容量模擬送電装置(模擬送)

- ・ FRT解析結果の検証
- ・ 多くの過渡現象解析結果評価

#### ◎解析

- ・ FRT解析評価未達
- ・ 大容量機過渡現象時の挙動検証に適用

### 1. 研究の背景 -解析適切性の必要性-

#### ◎歴史的に

1980年代 国内実電力系統による大規模な検証  
一般的には大容量発電機の実機データを得る事は難しい

解析モデルの適切性を評価することは困難

- ・ 大容量機の挙動を模擬できる**小容量模擬送**と
- ・ 模擬送の**解析モデル**
- ・ 模擬送の実測データと解析データの比較

解析モデルの適切性の検証

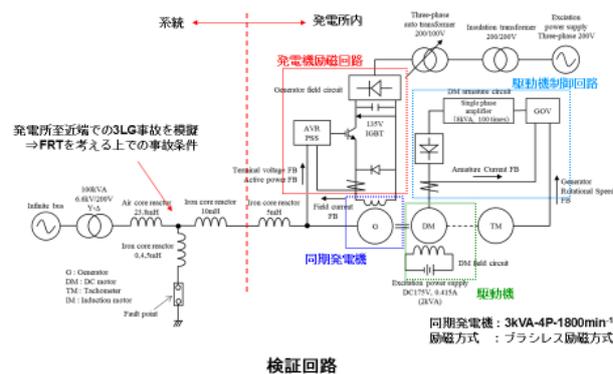
### 1. 研究の背景 -解析適切性の必要性-

- ・ 過渡現象についての模擬送を用いた実測データの取得  
その実測データを用いた解析の検証は報告されている
- ・ 大容量機と同等のリアクタンス, 時定数の検証機は特殊設計の発電機となり高価であるため, 汎用発電機を用いた
- ・ ブラシレス励磁によるFRTについては報告されていない

#### 検討内容

ブラシレス励磁によるFRTに関して, 実測データの取得と解析モデルによる解析結果との比較を行った

### 2. 検証・解析モデル・条件



検証回路

### 2. 検証・解析モデル・条件

模擬送(MG-set)による実験  
(4極-3kVA-1800min<sup>-1</sup>汎用発電機)

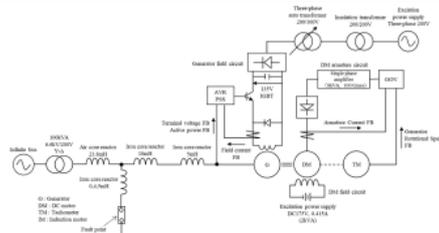
過渡現象解析プログラム  
(ATP-EMTP) による解析  
Parkモデル(同期機59モデル)

データの取得と解析結果との比較

解析結果の適切性評価

- ・ 小容量模擬送による検証において困難な要因
    - ①電機子抵抗成分の差による発電機回転数挙動
    - ②界磁時定数の差による過渡時の発電機界磁電流の減衰
- ⇒大容量機の挙動を模擬できる様に解決

### 2. 検証・解析モデル・条件



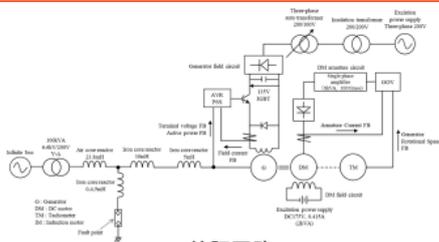
検証回路

汎用発電機  
(4極-3kVA-1800min<sup>-1</sup>MG set)

過渡現象解析プログラム  
(ATP-EMTP)

データの取得と解析結果との比較

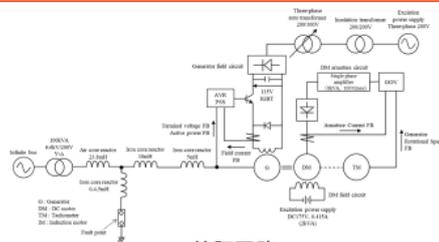
## 2. 検証・解析モデル・条件



検証回路

- 小容量模擬送による検証において困難な要因
    - ①電機子抵抗成分の差による発電機回転数挙動
    - ②界磁時定数の差による過渡時の発電機界磁電流の減衰
- ↓
- 大容量機の挙動を模擬できる様に解決

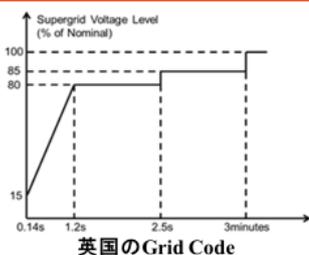
## 2. 検証・解析モデル・条件



検証回路

- 小容量模擬送による検証において困難な要因
    - ①電機子抵抗成分の差による発電機回転数挙動
    - ②界磁時定数の差による過渡時の発電機界磁電流の減衰
- 大容量機の挙動を模擬できる様に解決

## 2. 検証・解析モデル・条件



英国のGrid Code

- 英国のGrid Code  
発電所至近端で3線地絡事故が発生した際に発電機が**運転継続**しなければならない時間が定められている

## 2. 検証・解析モデル・条件

- 解析モデルの適切性の評価方法  
事故時の事故点電圧が0%, 20%, 30%残る条件でのFRTについて模擬送にて、**臨界故障除去時間(CCT)**の実測データを取得し、解析結果と比較する
- 臨界故障除去時間(Critical Clearing Time:CCT)  
系統で3線地絡が発生・除去した際の発電機が運転できる事故継続の限界時間

## 2. 検証・解析モデル・条件

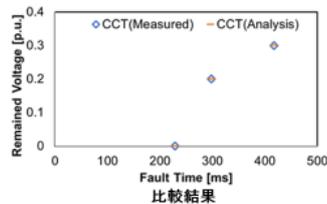
- 所内負荷の容量は発電機の数%と小さい  
通常は安定度解析では無視
- FRTでは**事故時間が長く、所内電圧の低下が長く続く**など所内負荷の運転継続に問題がないか確認するため所内負荷の補機電動機を模擬(80W駆動電動機)FRT時の挙動の解析評価を行った



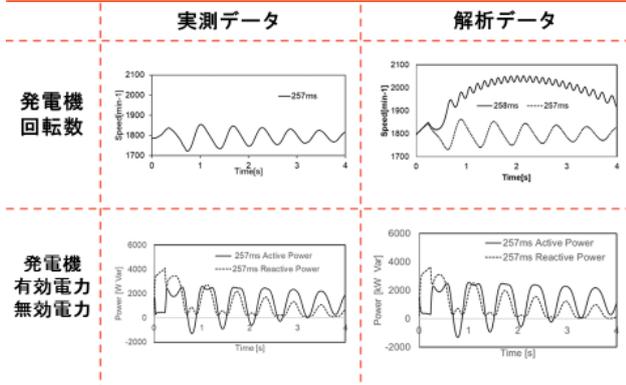
80W駆動電動機

## 3.FRT解析検証との比較のポイント

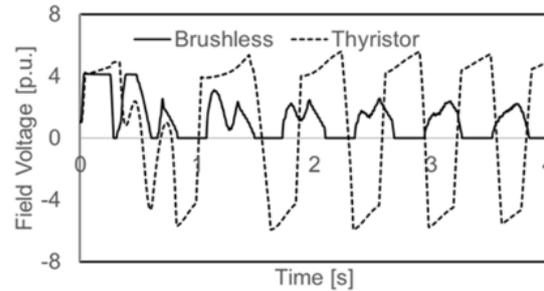
- 模擬送による実測データとEMTPによる解析結果を用いて検討を行った
- 検討条件  
事故時の事故点電圧: 0%, 20%, 30%



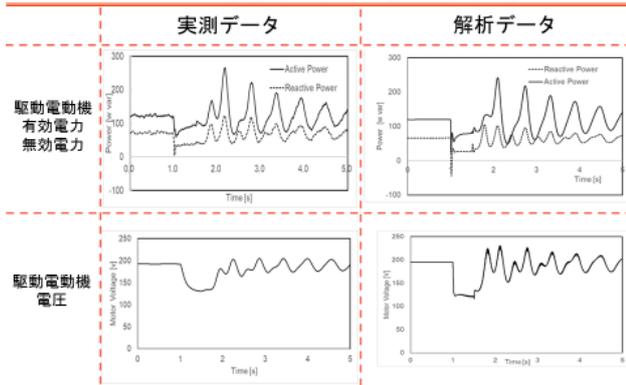
## 3.FRT解析検証との比較のポイント



## 3.FRT解析検証との比較のポイント



## 3.FRT解析検証との比較のポイント



## 3.FRT解析検証との比較のポイント

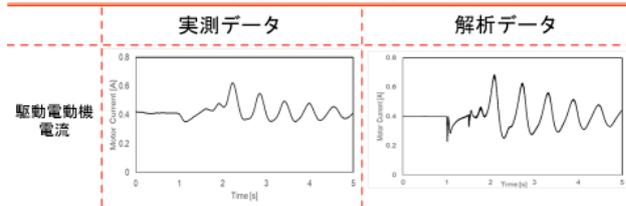


表1. CCT結果

	FV制御なし [ms]	FV制御 [ms]
3kVA模擬送	426	500
EMTP	426	500

**FV制御の有効性と解析モデルの適切性を確認**

## 4.まとめ

- 本検討, FRTに関して, 特に大容量機の挙動を模擬した模擬送によるデータ取得と, 模擬送と同等の解析モデルによる解析結果の比較を行った
- 模擬送による実測結果との比較による検討においては, EMTPによる解析結果に対して各条件におけるCCTが一致した結果が得られて, 解析の適切性について検証を行うことが出来た

## 4.まとめ

◎所内負荷の容量は数%と小さく, 通常は安定度解析では無視しているが, FRTでは事故時間が長く, 所内電圧の低下が長く続くなど所内負荷の運転継続に問題ないか確認するため, 所内負荷の補機電動機を模擬し, FRT時の挙動の解析評価を行った

結果, 電動機端子電圧は500msの間60%程度に低下, 復電時に過渡的に電流は増えるが, 発電機が脱調せずに安定なときに, 所内負荷の補機電動機が停止するなどの運転継続への問題ないことがわかった

◎今回の検証から得られた結果を大容量発電機の解析にフィードバックする検討を行うと共に, 我々は次の検証を計画しており, 新たな知見が得られたら報告の予定である

(3) 主な使用機器

- ・固定資産登録品名： 電源環境シミュレータ(三相切替ユニット付き) , 資産番号 : 41200667
- ・固定資産登録品名： アイソレーションアンプ, 資産番号 : 41600928, 41601074
- ・固定資産登録品名： 高速バイポーラ電源, 資産番号 : 41100474
- ・固定資産登録品名： クランプオンプローブ, 資産番号 : 41500445, 41201305, 41601080
- ・固定資産登録品名： メモリハイコーダ(リセール品) , 資産番号 : 41401340
- ・固定資産登録品名： クランプオープンプローブ, 資産番号 : 41101014

## 8. 次世代の DC/DC 変換装置に関する研究

### (1) 研究概要

次世代半導体を用いた直流／直流変換器，交流／直流変換器は，再生可能エネルギーの連系装置や，電気自動車の給電装置，蓄電装置の充電・放電制御に必要不可欠となっている。これら装置の製作には，パワーエレクトロニクスとプログラミング技術が必要になる。

本研究では，三相デュアルアクティブブリッジ変圧器の高周波変圧器の磁束密度の推定方法を提案する。定常状態の分析は，コンバータの磁束がバックモードとブーストモードで異なり，負荷と電圧のゲイン条件によって異なる。閉形式手法を提案し，コアの磁束スイングを推定する。従来の推定手法とは異なり，提案された手法は，入力電圧と出力電圧，および位相シフト値の関数として磁束を表す。有限要素解析により，提案された式が 4%未満の誤差でフラックスを予測できることが確認された。提案された方式は，実験で検証されたように，中電力から高電力の範囲で摂氏 1 度未満の高精度で変圧器の温度プロファイルの予測を改善する。提案された磁束推定方法は，コンバータの設計や，負荷の変化や始動などの重要な条件下でのコンバータの動作の予測に使用でき，変圧器を飽和または DC バイアスから保護する。

### (2) 研究内容報告

# DC/DC converter improvement

### Vienna AC/DC Rectifier design and fabrication

**Specification**

- Input : AC200 V
- Output : DC380 V ± 5%
- Power : 100 kW
- Power factor : > 0.99
- THD<sub>i</sub> : < 5%
- THD<sub>v</sub> : < 1%
- Efficiency : > 98%
- Standard : EN 61000-3-2; EN 61000-4-5

**Now:**  
12 pulses Trans.  
+  
Diode rectifier

**Specification**

- Input : DC380 V
- Output : DC280 - DC420 V
- Power : 100 kW
- Level : 3 (>50 kW)
- Mode : 4 (DC-direct connection)
- VZG : YES
- Standard : CHAdEMO

**2**

### Vienna AC/DC Rectifier design and fabrication

**Specification**

- Input : AC200 V
- Output : DC380 V ± 5%
- Power : 100 kW
- PF : > 0.99
- THD<sub>i</sub> : < 5%
- THD<sub>v</sub> : < 1%
- Efficiency : > 98%
- Standard : EN 61000-3-2; EN 61000-4-5

**Merits:**

- High performance
- High efficiency
- Low distortion
- High power density
- Regulated output voltage

**Demerits:**

- More expensive
- More complicated

**3**

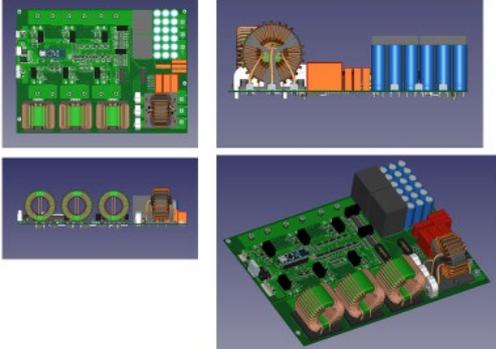
### Vienna AC/DC Rectifier design and fabrication

- Vienna calculator tool (Excel file, designed at AIT)
- AC inductor design tool (Matlab App)

**4**

## Vienna AC/DC Rectifier design and fabrication

### • 3D view (FreeCAD)

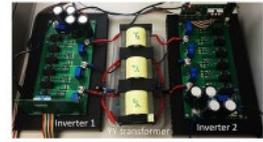


5

## DC/DC converter improvement

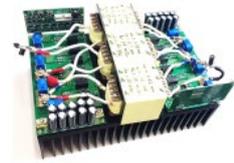
### • Version 1 (2019)

- Power: ~10 kW
- Efficiency: ~98.6%
- CAN support: NO
- Optimized: GOT by GA
- Controller: TI DSP
- Control type: Open loop only



### • Version 2 (2019)

- Power: ~25 kW
- Efficiency: ~99.1% (cal.)
- CAN support: NO
- Protection: Slow
- Noise immunity: Weak
- Controller: TI DSP
- Control type: Open/Closed loop

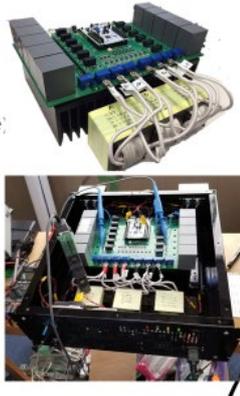


6

## DC/DC converter improvement

### • Version 3 (2020)

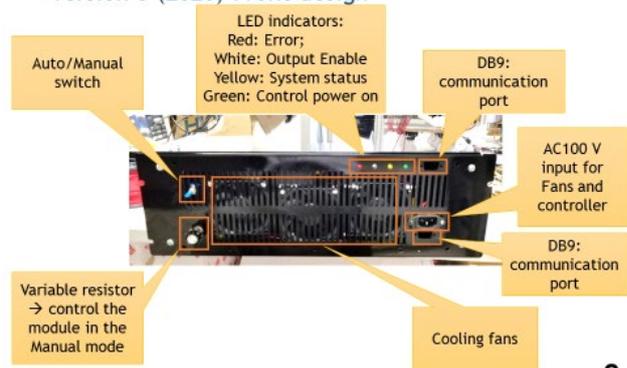
- Power: ~25 kW
- Efficiency: ~99.1% (cal.)  
98.4% @ 21.6 kW (mes.)
- CAN support: YES
- Protection: OCP (1.2 μs response time)
- Noise immunity: Medium
- Controller: STM32G431RE (ARM)
- Control type: Open/Closed/Remote
- Case: Plastic or Steel
- Earthing: N/A
- EMI filter: N/A
- Thermal management: N/A



7

## DC/DC converter improvement

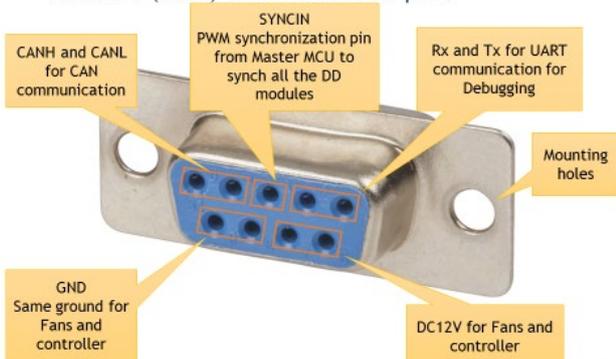
### • Version 3 (2020) Front design



8

## DC/DC converter improvement

### • Version 3 (2020) Communication port



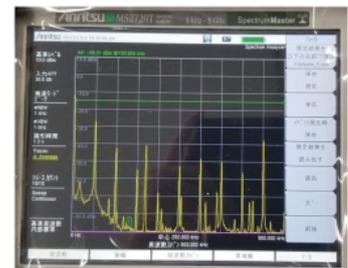
9

## DC/DC converter improvement

### • Version 3 experiment result

- High noise at 50 kHz → switching frequency
- Noise at even order is higher than odd order
- Noise at
 

@50 kHz	: -28 dBm
@100 kHz	: -43 dBm
@150 kHz	: -55 dBm
@200 kHz	: -69 dBm
@250 kHz	: -53 dBm
@300 kHz	: -49 dBm
@350 kHz	: -50 dBm
@400 kHz	: -56 dBm
@450 kHz	: -39 dBm
@500 kHz	: -60 dBm



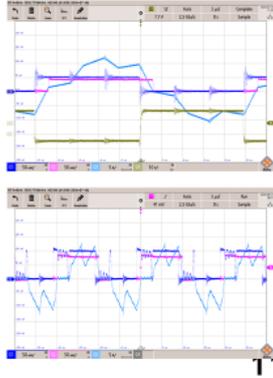
EMI noise on DC bus by Anritsu MS2720T

10

## DC/DC converter improvement

### Version 3 experiment waveform

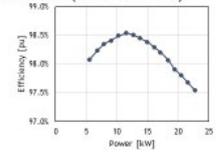
- Waveform by the conventional SPS modulation
  - Soft-switching is achieved
  - High commutation ringing due to large parasitic inductance of the DC current sensor (CASR50-NP)
- Waveform by the proposed SDM
  - ZCS is achieved
  - Phase currents are made discontinuous
  - Oscillation between parasitic cap and leakage inductance → lossless → may induce more EMI noise



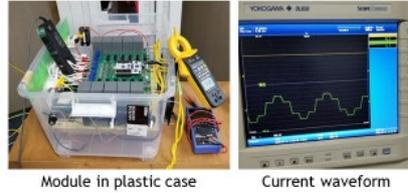
## DC/DC converter improvement

### Version 3 experiment with plastic case (07/13/19)

- $V_{in} = V_{out} = 400\text{ V}$
- Power = 5 kW - 22.0 kW
- Forced air cooling
- Peak efficiency: 98.6% @
- Heat distribution is balanced

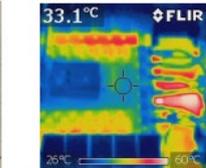


Efficiency in the loop mode



Module in plastic case

Current waveform

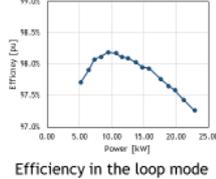


Transformer temperature

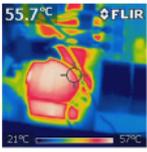
## DC/DC converter improvement

### Version 3 experiment with steel case (08/28/19)

- $V_{in} = V_{out} = 400\text{ V}$
- Power = 5 kW - 22.2 kW
- Forced air cooling
- Peak efficiency: 98.2% @
- Heat distribution is unbalanced → due to the steel case
- overall efficiency reduces by about 0.5%

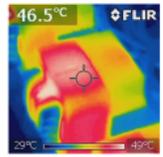


Efficiency in the loop mode



Transformer temperature

When put in the plastic case, temperature distribution is balance among cores and stacks



Transformer temperature

When put in the steel case, temperature distribution is unbalance among cores and stacks

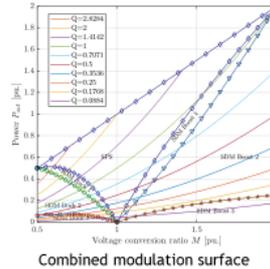
13

## DC/DC converter improvement

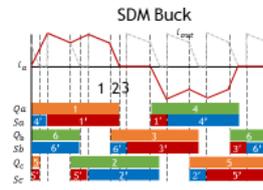
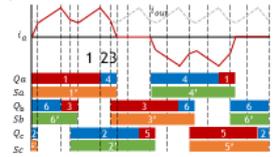
### Proposed modulation technique: SDM

- Three operation modes
  - SDM Buck
  - SPS
  - SDM Boost

Covers all modulation surface



Combined modulation surface



SDM Boost

14

## DC/DC converter improvement

### SDM summary

$$P_m = \frac{V_1^2}{24L_k f_s}; I_m = \frac{nP_m}{V_1}; M = \frac{nV_2}{V_1}; D_p = \frac{\psi}{2\pi}$$

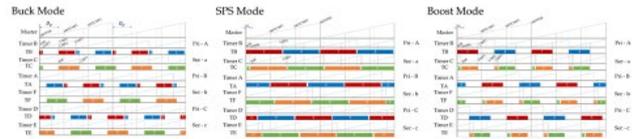
Mode	Phase shift boundary	Power boundary	Power function
Buck 3	$\left[ \frac{1}{3}, \frac{2-M}{6} \right]$	$P_m [M^2(1-M); 0]$	$4P_m(1-M)(1-3D_p)^2$
Buck 2	$\left[ \frac{2-M}{6}, \frac{4-5M}{6(2-M)} \right]$	$P_m \left[ M^2(1-M); \frac{M^2}{6(2-M)} \right]$	$2MP_m \left( \frac{2-M}{1+M} 18 \left( \frac{1}{2} - D_p \right)^2 - 1 \right)$
Buck 1	$\left[ \frac{2-M}{6}, \frac{1}{6} \right]$	$P_m \left[ M^2(1-M); 6M \frac{1-M}{1+M} \right]$	$P_m \frac{8M(1-M)}{3(1+M)} (2-3D_p)^2$
SPS buck	$\left[ \frac{1}{6}, \frac{1-M}{3} \right]$	$P_m \left[ 2M; 8M \frac{1-M^2}{3} \right]$	$8MP_m D_p (2-3D_p)$
SPS boost	$\left[ \frac{1}{6}, \frac{M-1}{3M} \right]$	$P_m \left[ 2M; 8M \frac{M^2-1}{3M} \right]$	
Boost 1	$\left[ \frac{M-1}{3M}, \frac{M-1}{2(M+1)} \right]$	$P_m \left[ 8 \frac{M^2-1}{3M}; 6M \frac{M-1}{M+1} \right]$	$24MP_m \frac{M+1}{M-1} D_p^2$
Boost 2	$\left[ \frac{M-1}{2(M+1)}, \frac{M-1}{6M} \right]$	$P_m \left[ 6M \frac{M-1}{M+1}; \frac{M-1}{M} \right]$	$3MP_m \frac{4D_p(1+3D_p)(M+1)-M+1}{2M-1}$
Boost 3	$\left[ \frac{M-1}{6M}, 0 \right]$	$P_m \left[ \frac{M-1}{M}; 0 \right]$	$36MP_m \frac{D_p^2}{M-1}$

15

## DC/DC converter improvement

### Implementation on STM32G474RE

- Use HRTIM, all 6 channels and Master channel



- When increasing the phase shift → increase the period correspondingly
- TC auto reset at matching CMP4

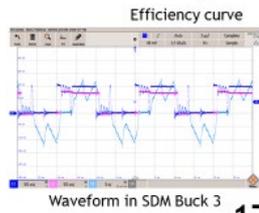
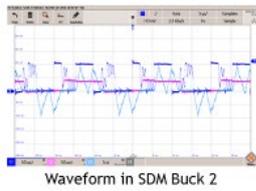
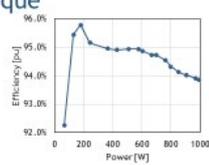
- When increasing the phase shift → increase the period correspondingly
- TC auto reset at matching CMP4

16

## DC/DC converter improvement

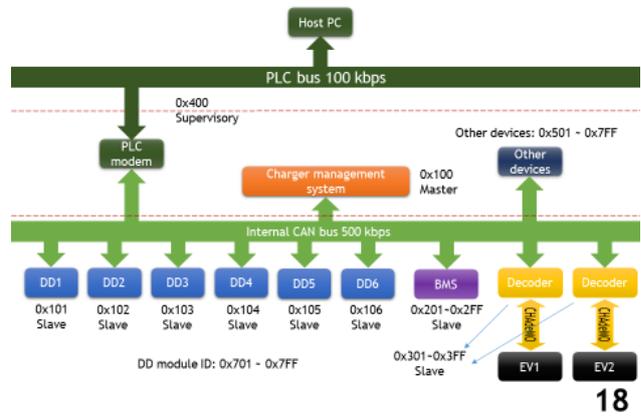
- Version 3 experiment: SDM technique

- Vin = 80 V;
- Vout = 64 V
- Power = 0 W - 1000 W
- Peak efficiency: 95.8% @ 100 W
- ZCS is achieved



17

## Communication system architecture



18

### (3) 主な使用機器

TG 付) , 資産番号 : 41901155

- 固定資産登録品名 : AC/DC クランプメータ, 資産番号 : 41901280
- 固定資産登録品名 : スコープコーダ, 資産番号 : 42001087
- 固定資産登録品名 : デジタルマルチメータ DT4281, 資産番号 : 41901439

## 9. 直流スマートハウスに関する研究

### (1) 研究概要

近年、再生可能エネルギーの普及が進み、直流発電装置や蓄電装置などの分散型電源が身近なものとなった。こうした装置を連系するほとんどの電力システムは、DC/AC 変換器によって直流電力から変換した交流電力を使用して交流で運用される。この電力の供給を直流にすることができれば、分散型電源から受け取る電力を AC/DC 変換器や DC/AC 変換器によって変換する必要がなくなり、結果として損失を低減することができるこれまでに直流給電を実施することにより、家電機器の省エネ効果を報告してきた。本研究では、複数の家電機器に直流電力を供給した場合の直流スマートハウスを構成し、その基本特性についての試験を行っている。

### (2) 研究内容報告

## 直流スマートハウスの 電圧特性に関する研究

### 1. 研究背景

2

近年、各家庭にも太陽光発電装置や蓄電装置を用いる例が増えてきている。

- 太陽光発電装置や蓄電装置は直流電力を扱う。一方、デジタル家電は交流電力を直流電力に変換してから扱う。
- 電力を変換する際に損失が生じる。

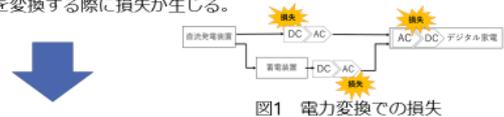


図1 電力変換での損失

デジタル家電を直流で運用することができれば、電力損失が減少する。

### 1. 研究背景

3



図2 スマートハウス

- スマートハウスは、電力使用量や電力発電量を把握し管理する住宅のこと。
- デジタル家電を直流機器に置き換えれば、スマートハウスを直流運用できる。

### 1. 研究背景

4



図2 スマートハウス

- 直流給電を実施し、太陽光発電、風力発電、蓄電装置を連携することを目指す。

本研究では、複数のデジタル家電に交流電力を供給した場合における機器内部の電圧特性について検討を行う。

1. 商用電源を用いた場合
2. 電源環境シミュレータを用いた場合

## 2. 直流給電

5

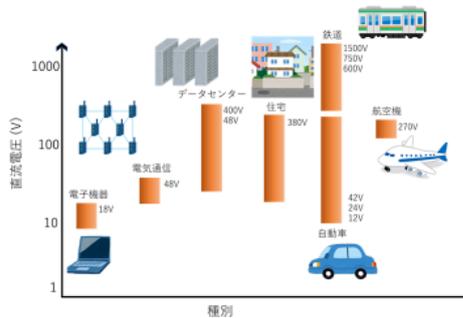


図2 直流給電実施例

## 3. システム構成

6

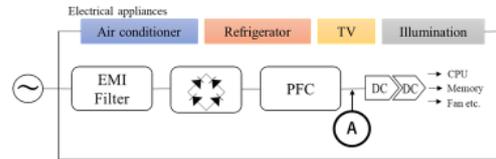


図4 実験回路

- 各デジタル家電のAC/DCコンバータとDC/DCコンバータが接続される点 (A点) にて電圧を計測した。

## 4. 実験結果

7

(1)商用電源を入力とした場合

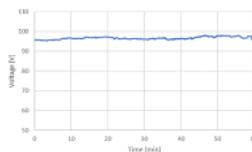


図5 実験結果 (電源側 交流電圧)

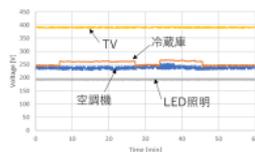


図6 実験結果 (負荷側 直流電圧)

- どのデジタル家電もほぼ一定の電圧を保っている。
- 空調機と冷蔵庫の波形に多少の揺れが生じる。

## 4. 実験結果

8

(1)商用電源を入力とした場合

$$\text{変動率} = \frac{\text{最大値} - \text{最小値}}{\text{全体の平均}} \cdot \dots (1)$$

表1 各家電の電圧変動率

	Max voltage(V)	Minimum voltage(V)	Rate of change(%)
Air conditioner	254.17	228.00	11.0
Refrigerator	267.33	239.33	11.0
LED	194.67	191.33	1.7
TV	393.83	387.83	1.5

- 空調機や冷蔵庫の電圧変動は気温など外部の環境が関わっていると思われる。

## 4. 実験結果

9

(2) 電源環境シミュレータを入力として用いた場合

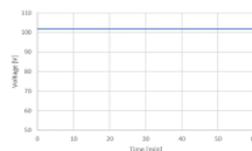


図7 実験結果 (電源側 交流電圧)

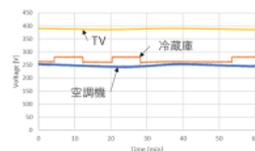


図8 実験結果 (負荷側 直流電圧)

- 入力電圧は101V辺りで一定であった。
- 負荷側の波形は全体的に波打っているように見える。

## 4. 実験結果

10

(2) 電源環境シミュレータを入力として用いた場合

$$\text{変動率} = \frac{\text{最大値} - \text{最小値}}{\text{全体の平均}} \cdot \dots (1)$$

表2 各家電の電圧変動率

	Max voltage (V)	Minimum voltage (V)	Rate of change (%)
Air conditioner	256.50	239.17	6.99
Refrigerator	282.67	255.50	10.11
TV	391.67	385.00	1.72

## 4. 実験結果

11

表3. 電圧変動率のまとめ

	Rate of change (%)	
	Grid power	Power simulator
Air conditioner	11.0	6.99
Refrigerator	11.0	10.11
LED	1.7	
TV	1.5	1.72

- 空調機は入力電圧が安定していても変動が起きた。
- 冷蔵庫はオンオフの切り替えがあるので似たような変動幅になった。

## 5. まとめ

12

スマートハウスを交流運用した際の電圧特性の確認

直流スマートハウス内のデジタル家電へ直流電力を供給するための検討の一つとして、各デジタル家電機器内部の直流電圧の測定を行った。

- 商用電源を用いた際のデジタル家電内部の電圧を測定した。
- 電源環境シミュレータを用いた際のデジタル家電内部の電圧を測定した。

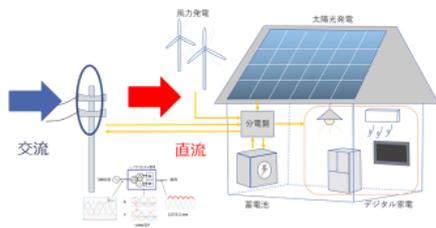
## 5. まとめ

13

➤ 今後は

- このスマートハウスの直流運用
- 直流発電装置や蓄電池といった分散型電源との連系
- 直流給電の入手法として、多相化トランスの検討

多相化トランス・・・高電圧から低圧直流に直接変換する受配電システムの技術



### (3) 主な使用機器

3274, 資産番号 : 42000608

- 固定資産登録品名 : クランプオンプローブ 3276, 資産番号 : 42000609
- 固定資産登録品名 : AC/DC クランプメータ, 資産番号 : 41901280
- 固定資産登録品名 : スコープコーダ, 資産番号 : 41000724
- 固定資産登録品名 : デジタルマルチメータ DT4281, 資産番号 : 41901439