

第2章 研究内容報告

1. 八草キャンパス2号館の9年間のエネルギー消費量分析と見える化ツールの改良

(1) 研究概要

八草キャンパス2号館は、2015年4月の運用開始から9年以上が経過した。本研究では過去のエネルギー消費量の変化から、現状の課題と改善策を示すことを目的として、過去9年間のエネルギー消費量の特性分析と、2015年から運用されているBEMS表示画面の改良を実施したためその内容を示す。

建物全体の年間エネルギー消費量を比較するため、電力とガスの消費量を1次エネルギー換算して比較を行った。電気、ガス共に2016年度に最高値を示し、2021年以降コロナ規制緩和のため若干の増加が見られたが、その後2023年には減少に転じている。系統別では室外機系とコンセント系が他系統と比べ2倍であり、近年上昇傾向にある。よって、コンセント系と室外機系を中心に調査を実施した。コンセント系には、室内機と全熱交換器の消費電力量が含まれており、それ以外は各階共用部のコンセントであるため、増加の原因を特定するためには両者の消費電力量割合が重要となる。そこで、測定器を追加して調査を行ったところ、コンセント系における室内機と全熱交換器の合計が8割程度を占めていることが分かった。そこで、全熱交換器の運転状況を確認したところ、24時間連続運転とそうでない箇所が混在していることがわかり、仮に全館で必要時のみ運転に変更した場合の電力消費量の削減効果を検討した。試算結果では、コンセント系消費電力量の約20%の削減が可能であることが分かった。

2号館で表示されているBEMSは、2016年よりエネルギー消費量を表示している。その後2017、2019年及び2022年にも表示内容の改善が行われているが、今年度は視認性と省エネ意識の向上を目指し、表示内容の改良作業を行った。主な改良点は、現状は比較対象を最大値及び最小値としていたが、直近と比較して省エネが実現できているのか不明であったため、改良版では目標値を設定することで現在の状況を明確化し省エネへの意識をさらに高めた。また、スクロールサインを用いて2号館利用者の興味を引くようにしたことと、表示するグラフを昨日・今日、先月・今月、直近1週間と様々な期間の情報を表示することに変更したことである。

(2) 研究内容報告

八草キャンパス2号館の9年間のエネルギー消費量分析と見える化ツールの改良

目次

1. 研究の目的
2. 対象建物概要・測定データ
3. 過去9年間の2号館エネルギー消費量分析
4. 大型モニターBEMSについて
5. まとめ

1. 研究の目的

2号館の継続的な省エネルギーの実現

- 過去9年間(2015年度～2023年度)のエネルギー消費量の特性分析
- 省エネルギー手法の検討、提案
- 2015年から運用されているBEMS表示情報の改良

2. 対象建物概要

愛知工業大学八草キャンパス内にある2号館



- 空調設備：地下階GHP、地上階EHP
- 換気設備：各室内機に対し全熱交換器1台
- 照明設備：LED

2. 測定データ

電気系

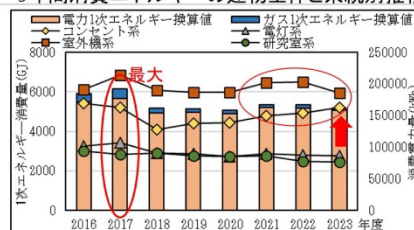
- ・EHP ⇒ 1階から6階の空調
- ・コンセント系 ⇒ 研究室以外の共有コンセント全熱交換器,室内機
- ・電灯系 ⇒ 照明等の電灯
- ・研究室系 ⇒ 研究室内のコンセント

ガス系

- ・GHP ⇒ 地下階の空調

3. 過去9年間の2号館エネルギー消費量分析

9年間消費エネルギーの建物全体と系統別推移



3. 過去9年間の2号館エネルギー消費量分析

コンセント系内訳

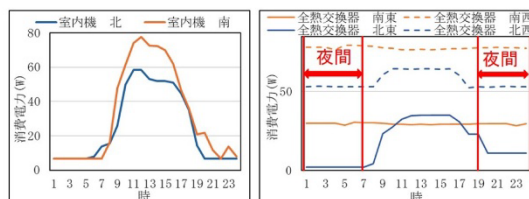
【目的】

コンセント系の室内機、全熱交換器における消費電力量の割合を明確化するため

名称	期間積算値	測定期間
室内機、全熱交換器	2.16kWh	9月30日17時 ～10月2日15時
コンセント系	2.77kWh	
割合	77.9%	

3. 過去9年間の2号館エネルギー消費量分析

室内機、全熱交換器使用状況



3. 過去9年間の2号館エネルギー消費量分析

2023年度における省エネ検討

項目	2023年度
①1台当たり風量(大)時の消費電力(W)	87.5
②1台当たりの年間消費電力量(kWh)	383
③コンセント系(年間)(kWh)	45304
④夜間運転台数(台) ③/①	83
⑤全熱交換器台数(台)	112
⑥運転台数割合(%) ④/⑤	74
⑦年間削減量(kWh) ②×④	31713

年間で31,713kWhのエネルギー削減につながる

⇒コンセント系消費電力量の約20%、全体で6%

4. 大型モニターBEMSについて

大型モニターにBEMS画面を表示する目的

- ・2号館の使用者に対し、現在のエネルギー使用状況を把握してもらうこと
- ・過年度よりエネルギーが増加している場合、省エネルギーとなる行動を心がけてもらうこと

今年度の研究での大型モニターBEMS変更の目標

- ・視認性の向上
- ・2号館利用者の省エネ意識向上

4. 大型モニターBEMSについて

4.1 1画面目 2号館過去推移



- ①: 2号館全体エネルギー消費量年間積算値
- ②: 2号館系統別電力消費量年間積算値
- ③: 2号館ガス消費量年間積算値
- ④: スクロールサイン

4. 大型モニターBEMSについて

4.2 2画面目 今日昨日のエネルギー消費量



- ①: 昨日の階別エネルギー消費量
- ②: 今年の階別エネルギー割合
- ③: 昨日の系統別エネルギー消費量
- ④: 今日の特別エネルギー消費量
- ⑤: 昨日の2号館エネルギー消費量
- ⑥: スクロールサイン

4. 大型モニターBEMSについて

4.3 3画面目 系統別電力消費量



- ①: 電気4系統の今月、先月積算値
- ②: 電気4系統の先月増減率
- ③: 電気4系統の直近1週間の増減率

4. 大型モニターBEMSについて

4.4 目標値について



5. まとめ

- 過去9年間の2号館消費エネルギー分析を行い、全熱交換器の夜間稼働を停止することで、全体の6%程度の削減につながる事が分かった。
- 2号館の継続的な省エネルギー化実現に向けて大型モニター表示BEMS画面の改良を行い、視認性等が改善された

(3) 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: 42100282
- ・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
- ・固定資産登録品名: ワイヤレスクランプロガーLR8513, 資産番号: 41600572
- ・固定資産登録品名: クランプオンパワーロガーPW3365-10, 資産番号: 41501291

2. インバータ・無限大母線系統での送電損失を考慮した最小の短絡容量比に関する検討

(1) 研究概要

近年、導入が進む太陽光発電や風力発電では一般に電流制御形インバータが使用されるため、それら電源は電圧維持能力の観点では同期発電機を用いた火力発電などの在来型電源より劣る。また、これらの電源は電力システム末端部に接続されることが多いため、これらが大量に連系された電力系統では電圧変動や電圧安定性など電圧に係わる技術課題の生じることが懸念される。一方、短絡容量比(SCR)は電力系統の電圧安定性面から見た強靱性を表す指標である。

本研究では、1機無限大母線系統を対象として、SCRの最小値の面から送電損失を含む送電特性の分析を行い、それらの関係式を導出した。すなわち、皮相電力—電圧曲線および有効電力—電圧曲線のノーズに対応するSCRを評価するとともに、SCRと送電損失の関係性を明らかにした。その結果によれば、SCRは電圧安定性の観点からは1~2にマージンを加えた値以上とする必要があるが、配電線で送電損失率を5~10%以下とするにはSCRをさらに大きな値とする必要のあることが明らかとなった。

(2) 研究内容報告

インバータ・無限大母線系統での送電損失
を考慮した最小の短絡容量比に関する検討
—1機無限大母線系統に対する検討—

Toshiya Nanahara, Yasuaki Yamada
Department of Electrical and Electronic Engineering
Aichi Institute of Technology (Japan)

Challenges Expected in Future Power Systems

Concerns in a power system due to the high penetration of IBR such as PV, wind power:

- Decrease of system inertia,
- **Decrease of short circuit capacity,**
- Simultaneous trip due to system disturbances.

System Strength

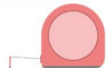
The paper focuses on the strength from the voltage point of view.



1/20

SCR: a Metric for System Strength

- **Short-Circuit-Ratio (SCR):** a typical metric of system strength for the voltage stability.
SCR = Short Circuit Capacity / Inverter Output Short Circuit Capacity
= $V^2 / | \text{Looking-back Impedance} |$
- Empirical threshold of **SCR=3** has been applied to both
 - IBR with self-commutated inverters and
 - HVDC with line-commutated inverters.



2/20

Objective: Answering the Questions on SCR

1. Question 1:
Why does SCR represent the system strength?
What is **the physical meaning of SCR**?
2. Question 2:
Why does **the value of 3** give a threshold for both self- and line-commutated inverters?



The paper examines the questions from the viewpoints of voltage stability and transmission loss for a single inverter infinite bus system.

3/20

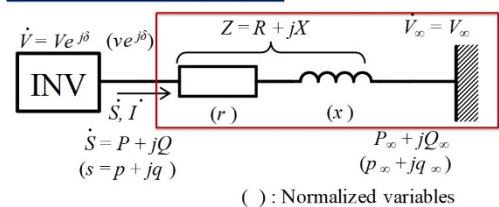
Content of the Presentation

1. Objective of the study
2. Studied system and major equations
3. SCR and voltage stability
4. SCR and transmission loss
5. Conclusion



4/20

Single Inverter Infinite Bus System



The system gives the Thevenin's equivalent circuit applicable to studies on voltage.

5/20

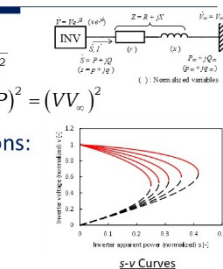
Basic Equations for the Studied System

- Basic equations:
 $P + jQ = V e^{j\delta} \bar{I}$, $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
 $(RP + XQ - V^2)^2 + (RQ - XP)^2 = (V_{\infty})^2$
() : Normalized variables

- Final **normalized** equations:

$$\begin{cases} s = \alpha v^2 \pm v \sqrt{1 - (1 - \alpha^2) v^2} \\ v = \sqrt{\alpha s + \frac{1}{2} \pm \sqrt{\left(\alpha s + \frac{1}{2}\right)^2 - s^2}} \end{cases}$$

Variables in lower-case letters are the normalized ones.



[Source] Yamada, et al., IEEE Transactions on Power Systems, Vol.39, No.4, pp.6076-6086 (2024).

6/20

SCR and s-v Curves

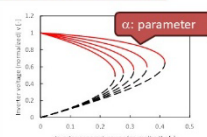
$$v = \sqrt{\alpha s + \frac{1}{2} \pm \sqrt{\left(\alpha s + \frac{1}{2}\right)^2 - s^2}}$$

Only one parameter α .

- Normalization:

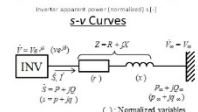
$$\begin{cases} s = \frac{S}{V_{\infty}^2 |Z|^2} \\ p = \frac{P}{V_{\infty}^2 |Z|^2} \end{cases} \quad \text{Voltage: } v = V/V_{\infty}$$

Reciprocal of SCR



- Parameter:

$$\alpha = r \cos \varphi + x \sin \varphi$$



7/20

Content of the Presentation

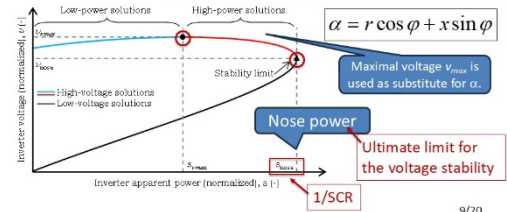
1. Objective of the study
2. Studied system and major equations
3. SCR and voltage stability
4. SCR and transmission loss
5. Conclusion



8/20

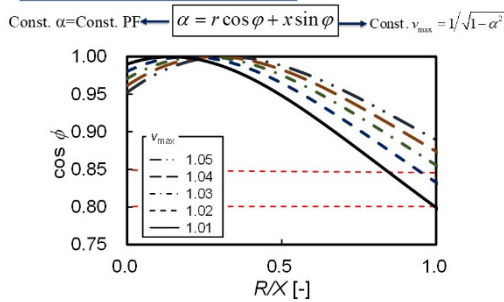
s-v Curves

- s-v curves solely depends on parameter α whereas α are decided by R/X and $\cos\phi$.
- The paper focuses on nose power.



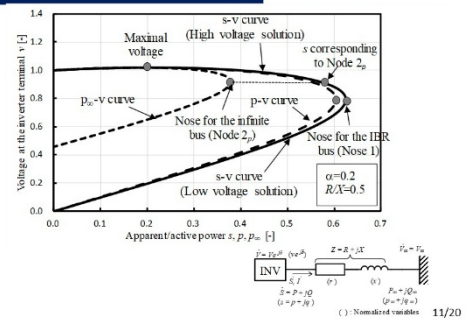
9/20

Parameter α vs. Power Factor



10/20

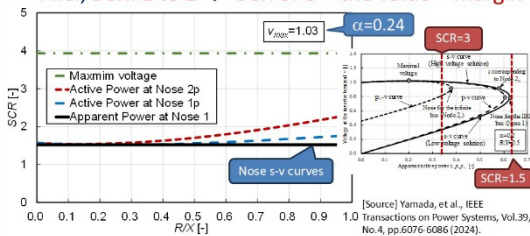
Various Power-Voltage Curves



11/20

Various Nose Powers

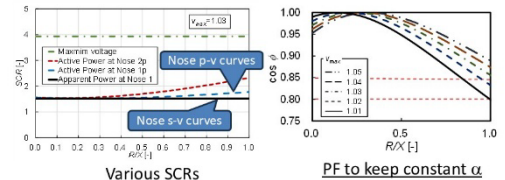
- We have showed "s" for the nose of s-v curves is 0.5 to 1.0 for constant pf or voltage operation.
- i.e., SCR: 1 to 2 $\rightarrow$ SCR of 3 $\approx$ the value + margin



12/20

Apparent and Active Power of Inverter

- Discrepancy between SCRs for the apparent and active powers of the inverter is not so significant.
- The reason is that the power factor to keep constant α is not so low.



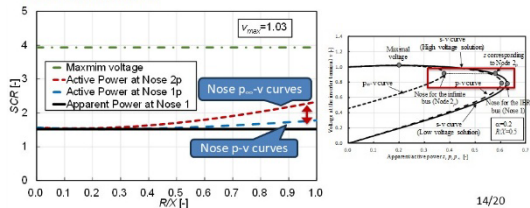
13/11/2024

Paper ID: 404

13/20

When Transmission Loss Is Considered, ...

For a system with large R/X ratio, the power flowing into the infinite bus can decrease even when the power of the inverter increase under a heavy load flow condition.



14/20

Content of the Presentation

1. Objective of the study
2. Studied system and major equations
3. SCR and voltage stability
4. SCR and transmission loss
5. Conclusion



15/20

Equations Related Transmission loss

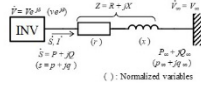
- Current:

$$i = \alpha v \pm \sqrt{1 - (1 - \alpha^2) v^2} \quad \leftarrow \quad s = \alpha v^2 \pm v \sqrt{1 - (1 - \alpha^2) v^2}$$
- Transmission loss:

$$p_{loss} = r(1 - v^2 + 2\alpha s)$$
- Loss factor LF:

$$LF = \frac{p_{loss}}{p} = \frac{r}{\cos \phi} \left(\frac{1 - v^2}{2} + 2\alpha \right)$$
- SCR to make LF constant (for Constant PF):

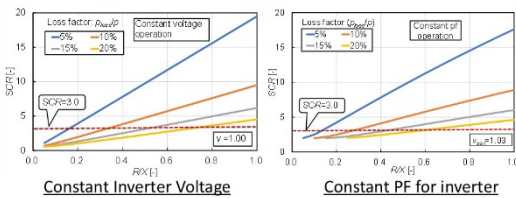
$$SCR = \frac{LF \times \cos \phi}{r} + \frac{r}{LF \times \cos \phi} - 2\alpha$$



16/20

SCR to Keep Constant Inverter Voltage

- SCR for constant voltage operation is similar to that for constant power factor operation; the former is a little larger than the latter.



18/20

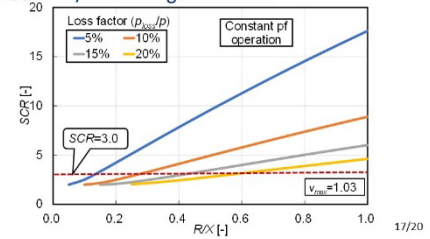
Topics for Further Study

- Assessment of minimal SCR considering the factor such as the thermal rating of lines.
- Simulation of the inverters connected to a weak grid.
- Stability assessment of the inverters connected to a weak grid and improvement.

20/20

SCR to Keep Constant Loss Factor

- SCR has to be high to keep a loss factor low in case of a large R/X ratio.
- The SCR for the constant loss factor of 5% soars to more than 10 for R/X ratio larger than 0.5.



17/20

Conclusion: Major Findings

- The physical meaning of SCR as a metric for voltage stability is interpreted with the power-voltage curves of a power system.
- The empirical threshold – SCR of 3 – can be considered as the sum of the nose power of the above-mentioned curves and margin.
- SCR has to be more than 3 to make the loss factor low for a power system with a large R/X ratio.



19/20

(3) 主な使用機器

- 固定資産登録品名:ノートパソコン, 資産番号:42000705

3. 電力系統の経済負荷配分制御の特性改善

(1) 研究概要

地球温暖化問題の対策として、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー(再エネ)が増加している。再エネ電源の出力は変動が著しく正確な予測が困難なため、その増加に伴い電力システムの需給バランス維持が難しくなる恐れがある。このため、電力システムの需給制御システムのうち、変動周期十数分以上の変動を対象とする経済負荷配分制御(EDC:Economic load Dispatching Control)の重要性が増している。これまでの解析によれば、EDC では変動周期数十分の変動が卓越し、これが需給制御の性能を低下させることが分かっている。

本研究では、電気学会が開発した「需給・周波数シミュレーションモデル(AGC30)」を用いて、電力系統への再エネ電源の大量導入に備え、需給制御の性能向上へ向けて、EDC 内の制御パラメータの1つである低域通過フィルタの時定数に着目し、それが発電機の出力変動および需給制御の性能に与える影響について、応動の遅い石炭火力発電が EDC 対象機として出力変動を分担する場合の検討を行った。その結果、EDC 内のフィルタ時定数を 300 秒とすることで、石炭火力発電の出力変動を抑えられることに加え、需給制御全体の性能も向上することを明らかとした。

(2) 研究内容報告

電力系統の経済負荷配分制御の特性改善
ー経済負荷配分制御のローパスフィルタ時定数が
需給制御の性能に与える影響ー

山口麗雄* 七原俊也 雪田和人
愛知工業大学 電力システム工学研究室



研究背景

- 再エネの変動：周期十数分程度以上が多く占める
- 経済負荷配分制御 (EDC)：変動周期20分程度以上を分担する需給制御



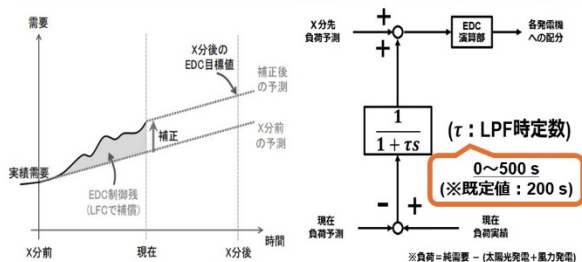
電力系統の需給制御



需給解析モデルの概要(AGC30)



EDCモデルの概要



※天野他:「PV大量導入がLFCへ与える影響に関するシミュレーション検討」(2012)

研究の目的

- EDC内のローパスフィルタ時定数が需給制御の性能と石炭火力の出力に与える影響の分析

Thermal generator (slow)

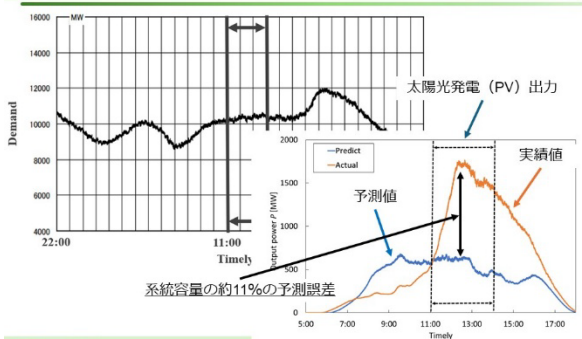
$$X \rightarrow \frac{1}{1 + 25s} e^{-60s} \rightarrow Y$$

Thermal generator (fast)

$$X \rightarrow \frac{1}{1 + 25s} e^{-10s} \rightarrow Y$$

*T. Inoue et al., "Load Frequency Control Logic to Utilize Generators with Long Time Delay in MW Response" (2008)

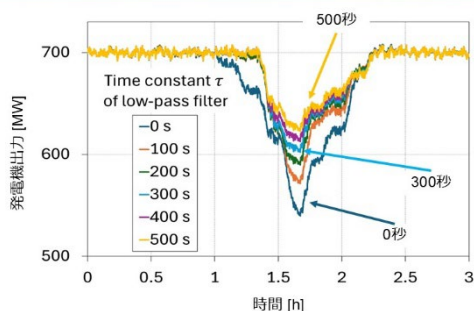
想定した負荷曲線と再エネの変動



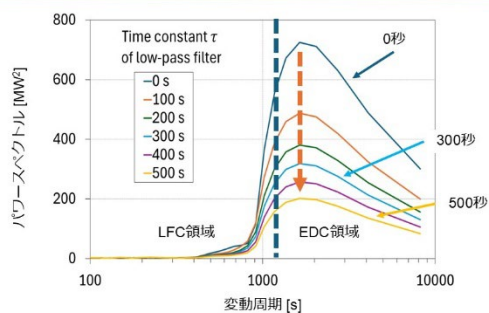
考察内容

- EDC内のローパスフィルタ時定数が需給制御の性能と石炭火力発電の出力に与える影響
- 制御遅れ角・判定角に基づく需給制御の性能評価
- 火カプラント側に導入するローパスフィルタ時定数の選定

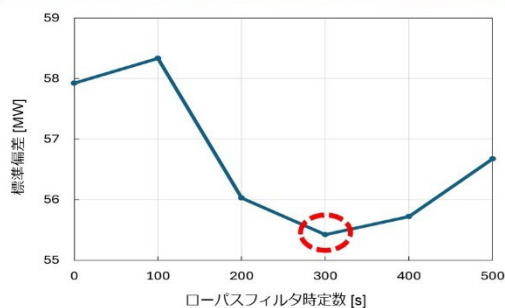
ローパスフィルタ時定数に対する石炭火力の出力の変化



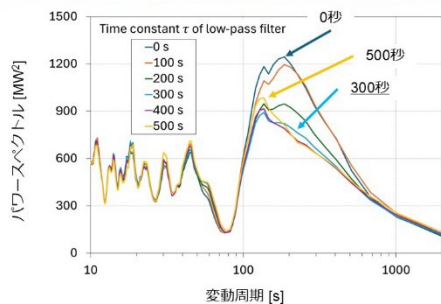
ローパスフィルタ時定数に対する石炭火力出力のパワースペクトル



AR(地域要求量)の標準偏差



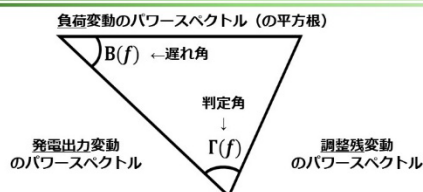
AR(地域要求量)のパワースペクトル



考察内容

- EDC内のローパスフィルタ時定数が需給制御の性能と石炭火力発電の出力に与える影響
- 制御遅れ角・判定角に基づく需給制御の性能評価
- 火力プラント側に導入するローパスフィルタ時定数の選定

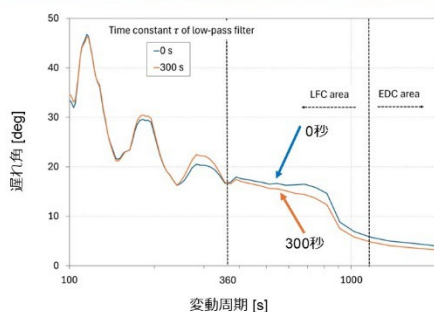
制御判定角を用いた性能評価



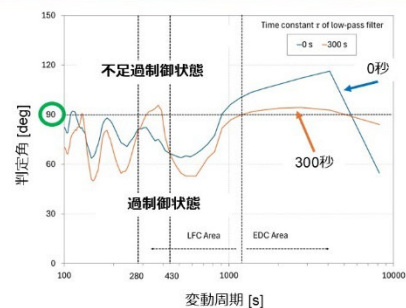
- $B = 0^\circ$: 遅れない理想的な場合
- $B = 90^\circ$: 調整残変動を減少できない場合
- $0^\circ < B < 90^\circ$: 上2つの中
- $\Gamma > 90^\circ$: 不足制御状態
- $\Gamma < 90^\circ$: 過制御状態
- $\Gamma = 90^\circ$: 最適制御状態

※ 鈴木他: 「電力系統の需給制御の性能評価と改良—その1: 周波数領域での新しい評価指標の提案—」 (2020)

制御遅れ角 $B(f)$



制御判定角 $\Gamma(f)$

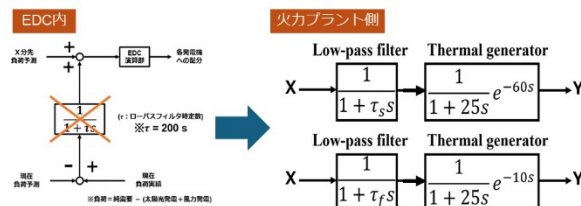


考察内容

- EDC内のローパスフィルタ時定数が需給制御の性能と石炭火力発電の出力に与える影響
- 制御遅れ角・判定角に基づく需給制御の性能評価
- 火力プラント側に導入するローパスフィルタ時定数の選定

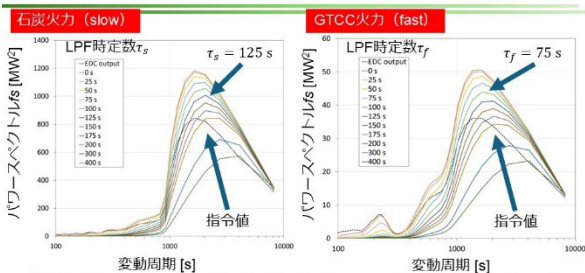
簡易モデルを用いた火力プラント側のローパスフィルタ時定数の選定

- どのようにEDC指令値に対してLPF時定数を選定すればよいか



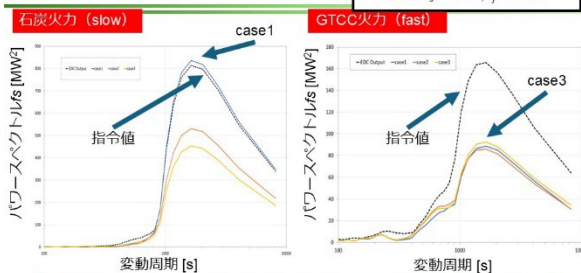
* T. Inoue et al., "Load Frequency Control Logic to Utilize Generators with Long Time Delay in MW Response" (2008)

簡易モデルを用いた火力プラント側のローパスフィルタ時定数の選定



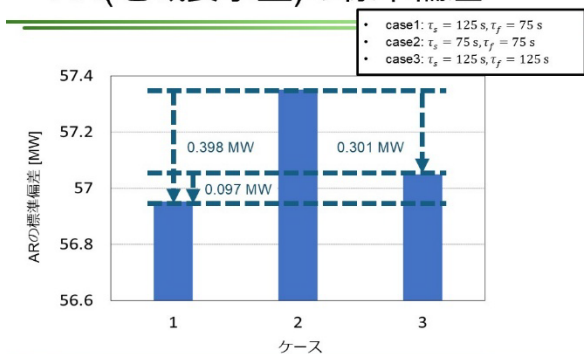
- 石炭火力プラント (slow) : LPF時定数 $\tau_s = 125$ sの場合を採用
- GTCC火力プラント (fast) : LPF時定数 $\tau_f = 75$ sの場合を採用

火力発電出力のワースペクトル



- 石炭火力プラント (slow) : case1が最も指令値に近い
- GTCC火力プラント (fast) : case3が最も指令値に近いが・・・

AR(地域要求量)の標準偏差



まとめと今後の課題

まとめ

- EDC内のLPF時定数は適切な値とすることで、石炭火力の出力変動の抑制と需給制御の性能向上が図れる可能性がある
- 簡易モデルを用いて、プラント側に応答の特性に合わせたLPFをそれぞれ組み入れることで性能が向上した

今後の課題

- LPF時定数の最適化
- EDC制御周期とローパスフィルタ時定数の協調
- AGC (=EDC+LFC)の最適化

(3) 主な使用機器

- 固定資産登録品名:ノートパソコン, 資産番号:42000841
- 固定資産登録品名:パソコン, 資産番号 42200494

4. 都心地下街におけるフリースペースの利用実態に関する研究

(1) 研究概要

オフィスや近年増加するマンションが密集する都心部の地下街は、ワーカーやマンションの住人にとって充実すべき都市空間と言える。武田は、地下街にワークスペース専用空間のニーズがあることや地下街のカフェを利用する際に利用客が最も重要視する要素として、「地上の気象要因(暑さ、寒さ、湿度)からの回避」、次に「地下鉄改札と地上目的地との移動動線上(利便性)」であることを明らかにしている¹⁾。悪天候に左右されず、空気調和された空間快適性を確保できるのが地下街のメリットであるが、ワーカーや買い物客等が昼、夕方等の同じ時間帯に利用が集中し、カフェや飲食店だけでは休憩や仕事利用できる空間が足りていないのではないかと考える。そこで、本研究では、都心部の地下街において、様々な目的で自由に利用することのできるフリースペースの必要性を考察することを目的として、フリースペース利用者の利用行動を観察調査し、利用実態を把握した。

地下街におけるフリースペースの必要性について考察するため、フリースペースの利用者数及び利用行動による利用実態と近接するカフェの混雑状況を観察調査した。本調査により明らかになった点を以下に示す。

- 1) フリースペースと近接するカフェに人が増え始める時間帯は同じである。
- 2) 社会人の利用は休日より平日の方が多い。
- 3) 平日に多い社会人の飲食率は、飲食禁止のベンチ席より飲食可能なカフェ側のテーブル席の方が約4倍高いが、飲食禁止のスペースを利用している者もあり、飲食可能なスペースの不足と必要性が示された。
- 4) 地上の気温が高くなる夏季は、地下街に人が集まりやすくなり、地上の気温が涼しくなる秋季には地上で過ごす人が増えるため、地上部の公園と地下街で利用者が分散され、地下街のフリースペース

の利用者数は減少する。

引用文献

- 1) 武田美恵:地下街におけるワークスペースと生活利便施設のニーズに関する研究—名古屋市中区栄セントラルパーク地下街を対象として—,日本インテリア学会論文報告集 34 号,pp.15-22,2024.3

(2) 研究内容報告



都心地下街におけるフリースペースの利用実態に関する研究

愛知工業大学工学部建築学科

○萩原岳巳・武田美恵

調査方法



表1 調査概要	
調査場所	地下街およびその周辺にある商業施設
調査対象	地下街内にある商業施設
調査期間	2024年8月8日(土)～8月8日(土) 計6日間
調査時間	2024年8月8日(土) 11:00～11:50、12:00～12:50、13:00～13:50
調査方法	調査場所を視覚的に観察し、利用者の属性と行動を記録する。
調査対象者	利用者の属性と行動を記録する。
調査結果	利用者の属性と行動を記録する。

エリア別利用者属性

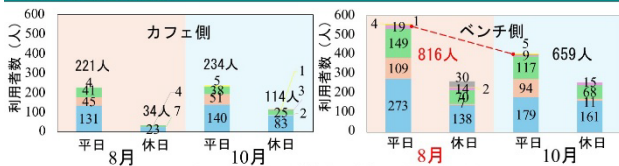


図1 エリア別利用者属性

- ・季節によって利用者属性の割合は変わらないが、社会人以外の大人利用が最も多い
- ・社会人の休日利用はほとんどない
- ・ベンチ側の方が利用者数が多い
- ・ベンチ側:10月より8月の方が利用者数が多い

平日の社会人の利用行動

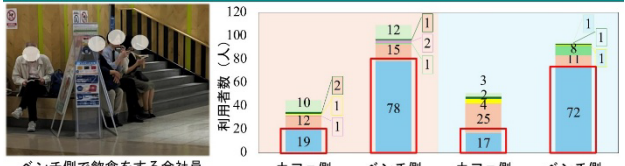


図2 社会人の利用行動

- ・ほとんどの社会人—休憩や飲食—を目的
 - ・仕事・勉強利用—ほとんどない
- カフェ側 約40%が飲食をしている
ベンチ側 約10%が飲食をしている

ベンチ側は飲食が禁止されているが、飲食を目的として利用していた

社会人の利用時間帯

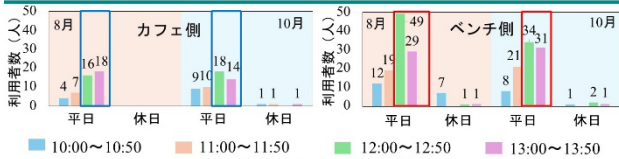


図3 社会人の利用時間帯

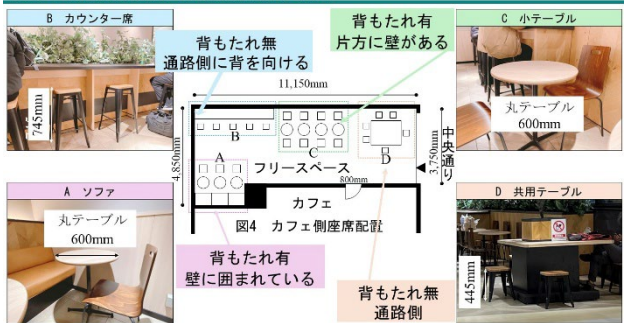
- 12時台と13時台に利用者数が多い
- 昼食を持参した会社員は座れるスペースがなく、地上へ向かう

昼食時のような同時刻に利用者が集中する際、飲食可能なスペースが不足している



図4 カフェ側座席配置

カフェ側の座席配置および家具の寸法



カフェ側の着座位置および座席移動と平均滞在時間

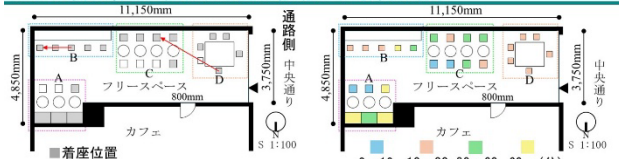


図5 着座位置および座席移動

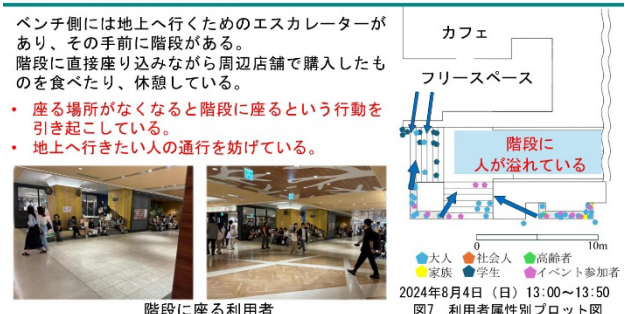
- 通路側→壁側に移動
- 真ん中→端に移動
- 壁側の座席を選択

図6 平均滞在時間

- 長い→壁側
- 短い→通路側
- 壁に囲まれた座席や壁側の座席→長時間使用

- ・通路側の座席よりも壁側の座席や端を好んで座る
- ・1人利用の時、2人席の片方は使われない

13時台の特徴的な利用行動



- ・ベンチ側には地上へ行くためのエスカレーターがあり、その手前に階段がある。階段に直接座り込みながら周辺店舗で購入したものを食べたり、休憩している。
- ・座る場所がなくなると階段に座るという行動を引き起こしている。
- ・地上へ行きたい人の通行を妨げている。

階段に座る利用者

図7 利用者属性別プロット図

地下街の地上部の公園における利用行動

S地下街のフリースペースと階段で直結する公園エリア
公園内には計5つのベンチがある

10月は8月に比べて利用者が約4倍多い

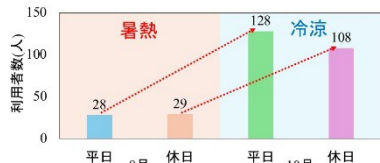


図8 地上部公園の利用者数の比較



地上部の公園



イベントの様子

ヒサヤオドリパークにおける利用者数と気温の関係性

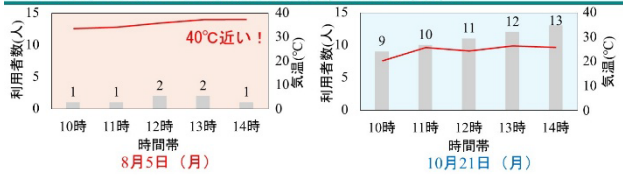


図9 地上部公園の利用者数と気温関係図

8月→暑い／利用者が少ない
10月→涼しい／利用者が多い
利用者は暑さから逃れようと
地下街に人が集中

地下街フリースペース

多くの利用客で溢れてしまっている。
暑さから身を守る空間が足りない

周辺のカフェによる影響

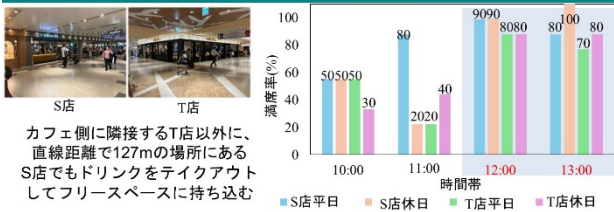
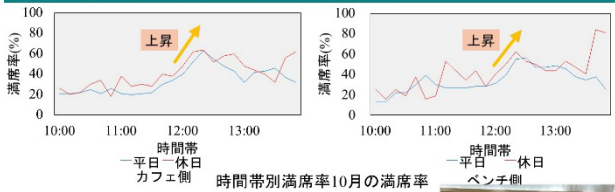


図10 S店とT店の混雑状況

- 地下街のカフェは平日、休日ともに12時台、13時台が混雑する時間帯
- フリースペースでは12時台になると昼休憩の社会人が多く利用
- カフェでテイクアウトしたドリンクとコンビニで購入した弁当を食べている人が殆ど

フリースペースの時間帯別満席率10月の満席率



時間帯別満席率10月の満席率

エリア毎の平日休日ともに満席率はほとんど同じ。

12時以降満席率が高くなる。

カフェ側の座席には2人席テーブルが計7つある。壁側にのみ座り、通路側には座ろうとしない。

飲食が可能なスペースは需要が高い



壁側にしか座られていない

結論とまとめ

- フリースペースと近接するカフェに人が増え始める時間帯は同じである。
- 社会人の利用は休日より平日の方が多い。
- 平日に多い社会人の飲食率は、飲食禁止のベンチ席より飲食可能なカフェ側のテーブル席の方が約4倍高いが、飲食禁止のスペースを利用している者もあり、飲食可能なスペースの不足と必要性が示された。
- 地上の気温が高くなる夏季は、地下街に人が集まりやすくなり、地上の気温が涼しくなる秋季には地上で過ごす人が増えるため、地上部の公園と地下街で利用者が分散され、地下街のフリースペースの利用者数は減少する。

5. 系統連系時における単相 Virtual Oscillator Control インバータの制御手法の開発

(1) 研究概要

近年、風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーによる発電が増加しているが、これらはインバータを介して系統に接続するのが一般的である。一方、従来のインバータ電源は電流制御であるため、系統に連系される従来のインバータ電源が増加し、同期発電機が減少すると、電圧維持能力の低下、慣性の減少などにより、電力系統が不安定になる恐れがある。Grid-Forming インバータはこのような電力系統の変化に対応できるインバータの方式として注目されている。

本研究では、Grid-Forming インバータに一種である Virtual Oscillator Control (VOC) インバータ(以下 VOC)を対象とした。渡辺らは三相の VOC にフィードバック制御を組み込むことにより、VOC を安定化する方法を提案している。VOC を安定化することを提案している。しかし、その手法は三相の VOC を対象としているため、単相の VOC には適用できない。本研究では、単相 VOC の電圧・電流を安定化させるため

に、それらをヒルベルト変換し瞬時複素ベクトルを求め d-q 変換することにより、その電圧・電流を安定化する制御方法を提案し、その妥当性を示した。また VOC 単体では不安定となるパラメータであっても、VOC の外部制御回路により電流を制御することで、電流・電圧を安定化させることのできる場合があることが明らかとなった。

(2) 研究内容報告

ICRERA 2024
13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGY
RESEARCH AND APPLICATIONS
November 9 - November 13, 2024, Nagasaki, Japan

A Study on DC Power Distribution Using Transformer with Special Winding Structure in Renewable Energy-Integrated Grid

Takuya GOTO *, Akihiro TSUSAKA, Akari MATSUNAGA, Kazuto YUKITA
(Aichi Institute of Technology)
Duy-Dinh Nguyen(Hanoi University of Science and Technology)

Aichi Institute of Technology
Takuya Goto

11/13/2024 Paper ID: 428 0/21

Introduction

■ Various methods of AC-DC converters

- ◆ Transformer system
- ◆ Switching system

Transformer system

3-phase AC voltage → transformer → AC → rectifier → DC → load

Switching system

3-phase AC voltage → AC → rectifier → DC → DC/DC converter → DC → load

• simple circuit
• Low noise
• low price

• Volume and weight are bulky.
• High thermal generation
• less efficiency

• Smaller and lighter
• Less heat generation
• High efficiency

• Circuits are complex

In this study, we focus on transformer systems

■ Challenges of conventional transformer system

Increased cost and size are problems when transformers are multiphased

A lower-cost method of multiphasing transformers is required.

General 12-phase transformer

11/13/2024 Paper ID: 428 2/21

The proposed system configuration

◆ POWER CONVERSION SYSTEMS USING TRANSFORMERS WITH SPECIAL WINDING STRUCTURES

Grid → Special winding 12-phase transformer → Full-bridge rectifier → AC Load / DC Load

12-phase voltage

✓ The three-phase voltages connected to the primary side are transformed by a transformer with a special winding structure into 12-phase AC voltages with different phases every 15 degrees.

✓ The converted 12-phase voltage is full-wave rectified by a diode rectifier circuit and can be converted into a 24-pulse DC voltage.

11/13/2024 Paper ID: 428 4/21

Introduction

■ Promote the use of DC equipment to realize a decarbonized society

Renewable Energy (Source: Agency for Natural Resources and Energy)
Storage Battery Systems (Source: GS yuasa)
Electric Vehicles (EV) (Source: Nissan)

• DC equipment is increasing both on the power supply side and the load side toward decarbonization.
• DC power supply systems are also expected to become more widespread.

■ Difference between AC and DC systems

Conventional power system: AC → AC/DC converter → DC → DC/DC converter → DC

DC power system: AC → AC/DC converter → DC → DC/DC converter → DC

Reduction in the number of conversions

11/13/2024 Paper ID: 428 1/21

SPECIAL WINDING STRUCTURE

■ Special winding structure transformer

We propose a special winding structure as a low-cost method of multiphasing.

◆ Proposed special winding 12-phase transformer connection diagram.

(Primary) Special winding structure diagram. (Secondary) Connection diagram.

◆ Winding ratio of special winding structure

Position	Winding Ratio	Position	Winding Ratio
R ₁ -N	1.000	S ₁ -N	1.000
N-R ₂	0.732	N-S ₂	0.732
R'-T ₃	0.518	S'-T ₃	0.518
R'-S ₄	0.518	S'-S ₄	0.518
R'-R ₂	0.318	S'-S ₂	0.318

◆ Advantages of Special Winding Structure

- Secondary windings can be reduced by obtaining line to line voltage with respect to the R₁, S₁, and T₁ connections.
- Reduced cost by reducing secondary side windings

11/13/2024 Paper ID: 428 3/21

The proposed system configuration

◆ Power flow : when DC and AC power are output on the secondary side

Power flow diagram of the system

Grid → Special winding 12-phase transformer → Full-bridge rectifier → AC Load / DC Load

12-phase voltage

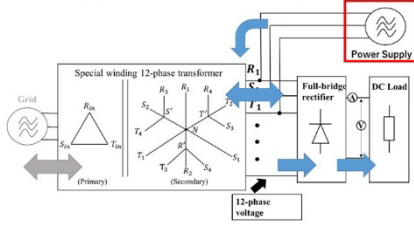
✓ By using the three phases of the 12-phase AC voltage that have a phase of 120 degrees, not only DC power but also AC power can be obtained on the secondary side.

✓ It is assumed that a three-phase transformer may be introduced to the AC load on the secondary side to obtain a voltage corresponding to the load. Therefore, the special winding structure transformer can convert the input AC power into a hybrid of DC and AC power.

11/13/2024 Paper ID: 428 5/21

The proposed system configuration

- ◆ Power generation equipment is installed on the secondary side



- ✓ The power supply connected to the three phases of the secondary side can also supply voltage to the 12 phases of the secondary side wiring, and AC-DC power conversion can also be used to supply power to DC loads.
- ✓ If the power supplied from the secondary side is larger than the DC load, the surplus power can also be supplied to the primary side of the grid.

11/13/2024

Paper ID: 428

6/21

SIMULATION EXPERIMENT

Experimental Methods

The primary voltage is assumed to be a 3-phase AC voltage of 6600 V. The basic case is that the secondary DC of 350 V is output via a special winding transformer. This can be accomplished with a single power conversion from AC high voltage to DC low voltage.

◆ Pattern 1

Pattern 1 is the case where an AC power supply is connected to the primary side of the transformer and an AC load of 450 W and a DC load of 3 kW are connected to the secondary side of the transformer with the special winding structure.

◆ Pattern 2

Pattern 2 is the case where a three-phase AC power supply, a 450 W AC load, and a 3 kW DC load are connected to the R1, S1, and T1 terminals, which are 120° out of phase on the secondary side of a transformer with a special winding structure. However, the primary side is assumed to be open.

- ✓ In the simulation of the two patterns described above, the three-phase voltage and current on the primary side, the voltage and current at the R1, S1, and T1 terminals on the secondary side, and the DC voltage and current after rectification.

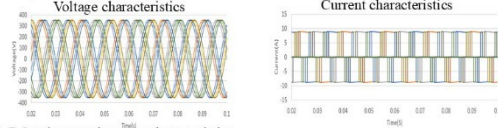
11/13/2024

Paper ID: 428

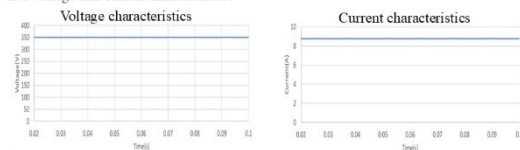
8/21

RESULTS OF SIMULATION EXPERIMENTS

◆ 12-phase voltage and current characteristics



◆ DC voltage and current characteristics



- ✓ The 12-phase voltage and current characteristics are output with a phase shift of 15 degrees, indicating that they are converted to the DC voltage and current.
- ✓ The ripple current is approximately 1.7%, which is a very small value.
- ✓ Based on these results, the special winding transformer proposed in this paper can simultaneously implement both AC and DC power feeds.

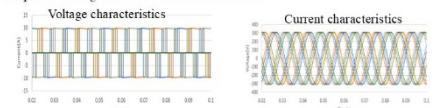
10/21

RESULTS OF SIMULATION EXPERIMENTS

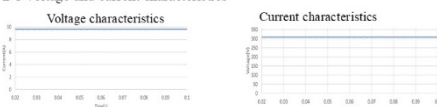
Results of experiments

◆ Pattern 2

12-phase voltage and current characteristics



DC voltage and current characteristics



- ✓ These experimental results show that connecting an AC power supply to the R1, S1, and T1 terminals on the secondary side of the special winding structure transformer can supply power to a DC load connected to the secondary side.
- ✓ Feeding power to the reference three-phase terminals on the secondary side can supply DC voltage and current.

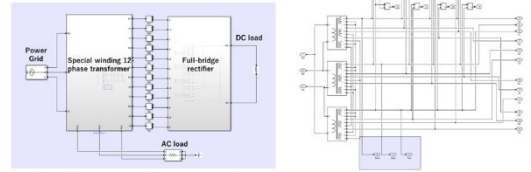
11/13/2024

Paper ID: 428

12/21

SIMULATION EXPERIMENT

- ◆ The simulation was performed using MATLAB /Simulink



Overall system configuration model

Special winding 12-phase transformer

◆ Measurement Items

- ✓ The specifications of the transformer with special winding structure used were assumed to have a delta connection on the primary side, a special winding structure on the secondary side, and a capacity of 10 kVA.
- ✓ The efficiency, the DC load was assumed to be approximately 3 kW winding resistance, and the AC load was 450 W. The primary voltage is assumed to be a 3-phase AC voltage of 6600 V. The basic case is that the secondary DC of 350 V is output via a special winding transformer. This can be accomplished with a single power conversion from AC high voltage to DC low voltage.

11/13/2024

Paper ID: 428

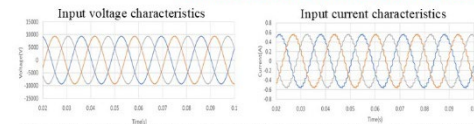
7/21

RESULTS OF SIMULATION EXPERIMENTS

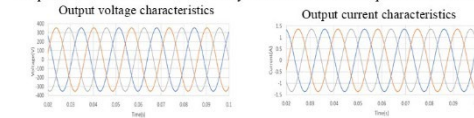
Results of experiments

◆ Pattern 1

The 3-phase voltage characteristics and 3-phase current characteristics input to the primary of the special winding transformer. The voltage characteristics of the input are in equilibrium. The current characteristic contains harmonics because the current is rectified.



The voltage and current characteristics of the 3-phase AC output on the secondary side of the special winding transformer (R1, S1 and T1 terminals) The three-phase voltage and current output from the transformer secondary can be seen to have a phase shift of 120 degrees.



9/21

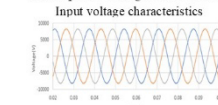
RESULTS OF SIMULATION EXPERIMENTS

Results of experiments

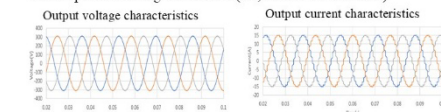
◆ Pattern 2

The primary system of the special winding transformer is assumed to be open. Therefore, the case in which no current is flowing in the primary side is assumed.

The 3-phase voltage characteristics input to the primary of the special winding transformer



The voltage and current characteristics of the 3-phase AC output on the secondary side of the special winding transformer (R1, S1 and T1 terminals)



- ✓ In this simulation, power is input to the special winding transformer from these terminals.

11/13/2024

Paper ID: 428

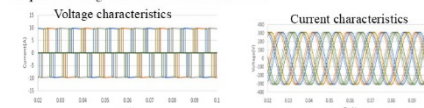
11/21

RESULTS OF SIMULATION EXPERIMENTS

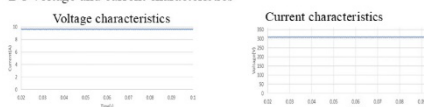
Results of experiments

◆ Pattern 2

12-phase voltage and current characteristics



DC voltage and current characteristics



- ✓ Furthermore, since voltage is also generated for the voltage characteristics of the primary side terminals, it is possible to supply power from the secondary side to the primary side. Therefore, even if there is no power supply on the primary side of the proposed converter, a three-phase AC power supply can be connected to the secondary side to supply DC power to the load.

11/13/2024

Paper ID: 428

13/21

DEMONSTRATION OF A POWER SUPPLY SYSTEM USING A SPECIAL WIRE-WOUNDWINDING STRUCTURE TRANSFORMER IN A BUILDING

The developed special winding structure transformer was installed in an actual building and DC power supply was implemented.

- ◆ No.14 Building in AIT with DC power supply and distribution



- ✓ The power generation equipment connected to the secondary side of the transformer is an 11 kVA photovoltaic panel and a 10 kVA grid-connected equipment system.
- ✓ As for the DC load, 80 LED lights capable of DC power supply are installed, totaling approximately 3.25 kW. As shown in Fig. the photovoltaic system and the special winding transformer were installed on the roof of the building. The implementation of the DC power supply was done using LED lighting in the lecture rooms on the second floor.

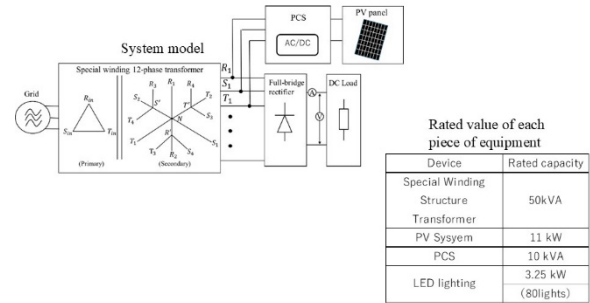
11/13/2024

Paper ID: 428

14/21

DEMONSTRATION OF A POWER SUPPLY SYSTEM USING A SPECIAL WIRE-WOUNDWINDING STRUCTURE TRANSFORMER IN A BUILDING

- ◆ The developed special winding structure transformer was installed in an actual building and DC power supply was implemented.



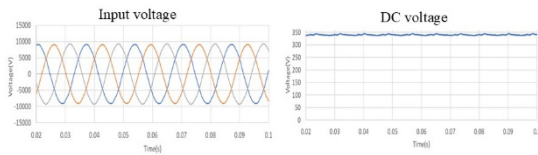
11/13/2024

Paper ID: 428

15/21

DEMONSTRATION OF A POWER SUPPLY SYSTEM USING A SPECIAL WIRE-WOUNDWINDING STRUCTURE TRANSFORMER IN A BUILDING

- ◆ The secondary side DC voltage characteristics when a 3-phase AC voltage of 6600 V was applied to the primary side of the special winding transformer.



- ✓ Since the connection of a load was not implemented at this time, only the voltage characteristics are shown.
- ✓ DC voltage is output by applying 3-phase AC voltage.

11/13/2024

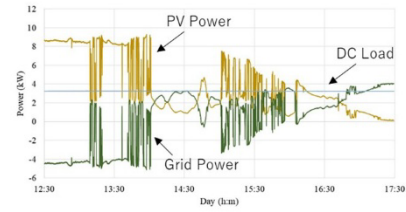
Paper ID: 428

16/21

DEMONSTRATION OF A POWER SUPPLY SYSTEM USING A SPECIAL WIRE-WOUNDWINDING STRUCTURE TRANSFORMER IN A BUILDING

- ◆ The power characteristics from 12:30 to 17:30

The Fig shows the power characteristics consumed by the DC load, the photovoltaic output characteristics, and the power flow to the grid.



- ✓ Since the weather on that day was sunny and partly cloudy, there are fluctuations in solar power generation.
- ✓ In response to this fluctuation, surplus power is being transmitted to the grid and received when there is a shortage.

11/13/2024

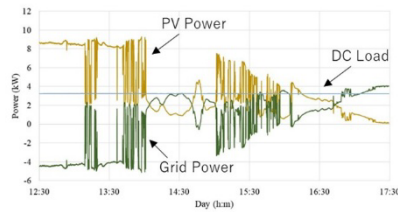
Paper ID: 428

17/21

DEMONSTRATION OF A POWER SUPPLY SYSTEM USING A SPECIAL WIRE-WOUNDWINDING STRUCTURE TRANSFORMER IN A BUILDING

- ◆ The power characteristics from 12:30 to 17:30

The Fig shows the power characteristics consumed by the DC load, the photovoltaic output characteristics, and the power flow to the grid.



- ✓ The solar power generation is generating up to 9 kW, and when there is a DC load, power is sent to the grid when surplus power is generated.
- ✓ It can also be seen that the system receives power from the grid when solar power generation is not sufficient.
- ✓ This system can cope with fluctuations in solar power output.

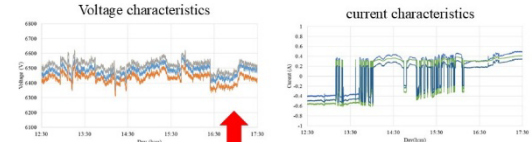
11/13/2024

Paper ID: 428

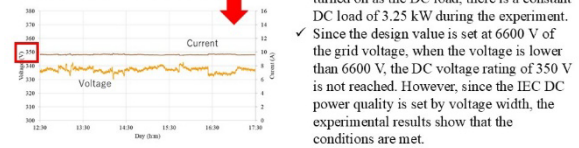
18/21

DEMONSTRATION OF A POWER SUPPLY SYSTEM USING A SPECIAL WIRE-WOUNDWINDING STRUCTURE TRANSFORMER IN A BUILDING

- ◆ The primary side voltage and current characteristics



- ◆ the voltage and current characteristics of the DC load.



- ✓ Since the LED lighting is continuously turned on as the DC load, there is a constant DC load of 3.25 kW during the experiment.
- ✓ Since the design value is set at 6600 V of the grid voltage, when the voltage is lower than 6600 V, the DC voltage rating of 350 V is not reached. However, since the IEC DC power quality is set by voltage width, the experimental results show that the conditions are met.

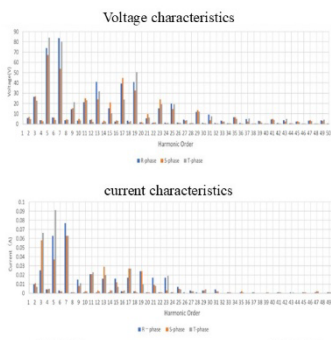
11/13/2024

Paper ID: 428

19/21

DEMONSTRATION OF A POWER SUPPLY SYSTEM USING A SPECIAL WIRE-WOUNDWINDING STRUCTURE TRANSFORMER IN A BUILDING

- ◆ The average surge characteristics of the voltage and current from 12:30 to 13:00



- ✓ The voltage characteristic is these voltages and currents are harmonic characteristics for each phase.
- ✓ If we focus on the voltage characteristics, we can see that there is a maximum of about 83 V in the 5th and 7th order. Since the rated value is 6600 kV, this is about 1.2%, which is very low.

- ✓ The current characteristics show high 5th-, 7th-, and 3rd-order harmonics. If we focus on the voltage.
- ✓ The maximum value is about 0.6 A, which indicates that the harmonics are about 15%. For these harmonics, a filter or similar device needs to be introduced on the primary side and will be the subject of a future study.

11/13/2024

Paper ID: 428

20/21

Conclusion

- Topics for study

- ✓ The application of transformers with special winding structures developed by the authors to DC-AC feed and distribution systems.

- Results of a study

- ✓ Specifically, the transformers with special winding structures developed so far have been mainly used for primary to secondary AC/DC conversion.
- ✓ However, we have also studied AC/AC conversion using the secondary side terminals from the structure, and hybrid conversion of AC/DC and AC/AC conversion, or AC/AC conversion, was also studied, and its effectiveness was demonstrated.
- ✓ It was also confirmed that the ripple voltage of the dc output increases when a power supply is connected to the secondary side of the proposed converter.

- Future works

- ✓ In the future, we plan to increase the capacity of the transformer with special winding structure, connect a PCS in a more realistic environment, and conduct a multifaceted study of the proposed converter's operation.

11/13/2024

Paper ID: 428

21/21

(3) 主な使用機器

- ・固定資産登録品名：ノートパソコン，資産番号：42000477

6. カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵材料向けの高密度多孔質炭素の開発

(1) 研究概要

多孔質炭素は、微細な孔を多数有する炭素材料であり、高い比表面積や化学的安定性を特長としている。これらの特性により、多孔質炭素は吸着剤、触媒担体、電極材料など、幅広い応用分野において注目されている。その代表例として、古くから使用されてきた活性炭が挙げられる。活性炭は、天然素材や合成高分子を原料とし、熱処理や化学処理によって細孔構造が形成された多孔質炭素である。活性炭の細孔は、吸着性能に優れ、ガスや有機物の除去、水処理、さらにはエネルギー貯蔵デバイスにおける電極材料としての利用が進んでいる。しかし活性炭の合成には賦活操作が必要であり、高表面積化のためには炭化した原料の粉碎が必要不可欠である。さらに、電気エネルギー貯蔵材料として利用する場合、導電性に乏しいバインダーを用いて粉末状の活性炭を成型する必要がある、バインダーの使用は電極抵抗の低下を招く。

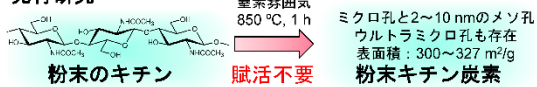
2024 年度において、我々はセルロースをはじめ、蟹や海老などの甲殻類の殻の主成分であるキチンなどのバイオマス材料が圧縮するだけで成形できる特徴を利用し、高密度な多孔質炭素の合成に取り組んだ。この合成では、バイオマス材料を圧縮して炭化するだけで、圧縮成型後の構造を維持しながらも、高密度化された多孔質炭素を得ることができる。この手法では賦活が不要であるが、それはセルロースやキチンが炭化のみの操作によって細孔を形成するからである。つまり、これらのバイオマス材料は炭化過程で分解ガスを放出しながら細孔を形成し、収縮は伴うものの、バイオマスの圧縮直後の構造を維持しながら高密度化された多孔質炭素に変換される。高密度化された多孔質炭素は、バインダーを用いる成型操作が不要であるため、バインダーを用いて得られる電極の約 100 倍もの高い電気伝導率を示すことが明らかになった。セルロースを用いた高密度化された多孔質炭素は、ミクロ孔と呼ばれる 2 ナノメートル以下の細孔のみを有するため、体積あたりの吸着量に優れる。したがって燃料電池の燃料となる水素の貯蔵剤として、高表面積を有する活性炭よりも大きな体積あたりの水素貯蔵量を示すことが分かった。一方でキチンを原料とした高密度多孔質炭素は、ミクロ孔に加えて、メソ孔と呼ばれる 2 から 50 ナノメートルの細孔を有する。ミクロ孔は細孔径が小さいため、細孔内でのガス分子やイオンの拡散抵抗が大きい、より大きなメソ孔が存在することによって、拡散抵抗を大幅に低減することができる。したがって、イオンの吸脱着を充放電機構とする電気二重層キャパシタの電極材料に優れる。さらに高密度化されたキチン由来多孔質炭素は、単位体積あたりの高い容量を得ることができるため、市販の電気二重層キャパシタ電極に用いられる活性炭と同等の性能を示すことが分かった。

(2) 研究内容報告

キチンから合成した ディスク状多孔質炭素を電極材料に用いた 電気二重層キャパシタの性能評価

緒言

先行研究



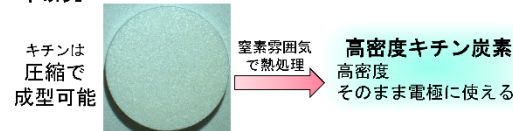
- ・豊富なバイオマス
- ・利用用途が乏しい

用途: EDLCの電極材料

粉末キチン炭素が実用的なEDLCの電極材料であることを報告済み

H. Itoi, G. Saeki, et al., ACS Sustainable Resour. Manage., 1, 2024, 743–756.

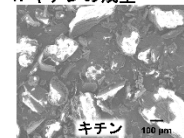
本研究



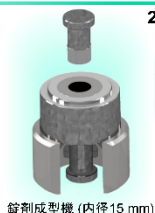
高密度キチン炭素の構造評価とEDLC特性評価を行った。

操作 ~高密度キチン炭素の合成・分析~

1. キチンの成型

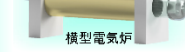


圧力: 50~400 MPa (1 min)
仕込み量: 15~400 mg/cm^2
(仕込み量で厚さを調節)

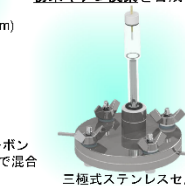


2. 熱処理

窒素流通下 850 $^\circ\text{C}$ で1 h



~比較試料~
未成型のキチンを熱処理
 $\Rightarrow$ 粉末キチン炭素を合成



<構造評価>

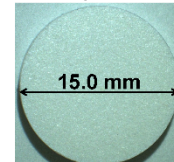
- ・実体顕微鏡
- ・走査型電子顕微鏡
- ・ N_2 吸脱着測定
- ・ CO_2 吸脱着測定
- ・抵抗測定
- ・密度測定

<電気化学測定>

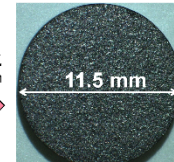
参照電極: Hg/HgSO_4
作用極: 高密度キチン炭素
電解液: 1 M H_2SO_4
~粉末キチン炭素の測定~
粉末キチン炭素とPTFE、カーボン
ブラックを18:1:1の重量比で混合
 $\Rightarrow$ 電極に成型して測定

結果 ~実体顕微鏡観察および走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察~

合成条件: 400 mg/cm^2 のキチンを300 MPaで成型 $\Rightarrow$ 熱処理



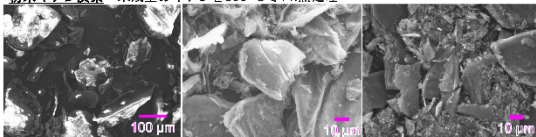
粉末キチン炭素を圧縮しても
高密度キチン炭素は成型できない



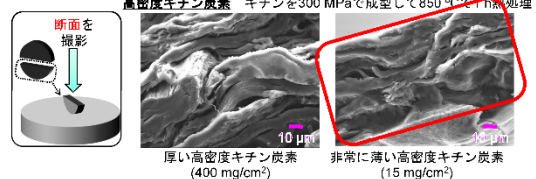
高密度キチン炭素表面のSEM写真

結果 ~SEM観察 (粒子のパッキングについて)~ 加速電圧: 15 kV

粉末キチン炭素 未成型のキチンを850 $^\circ\text{C}$ で1 h熱処理



高密度キチン炭素 キチンを300 MPaで成型して850 $^\circ\text{C}$ で1 h熱処理



結果 ~ N_2 吸脱着測定~

前処理: 150 $^\circ\text{C}$ で6 hの減圧加熱乾燥

高密度キチン炭素の合成条件

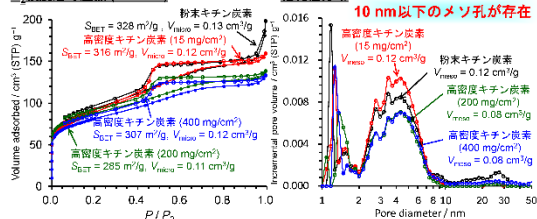
成型圧力: 300 MPa

熱処理: 850 $^\circ\text{C}$, 1 h

スリット状細孔と仮定して N_2 吸着
等温線からDFT法により計算

N_2 吸脱着等温線 (-196°C)

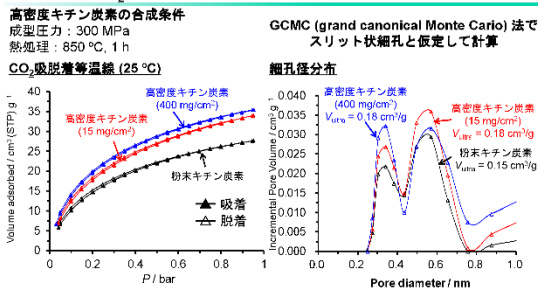
細孔分布



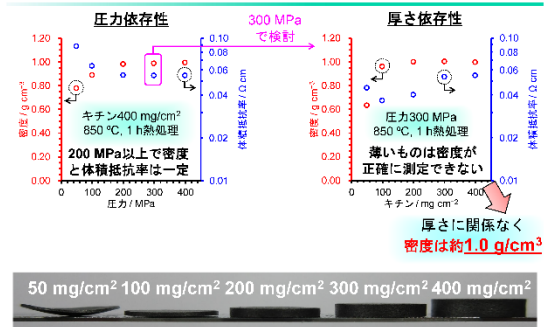
ミクロ孔の他に2~10 nmのメソ孔を確認

$\Rightarrow$ 拡散抵抗を低減させるためEDLCの電極として有利

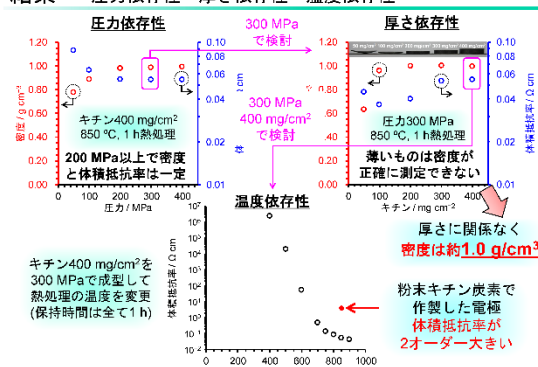
結果 ~CO₂吸着測定~



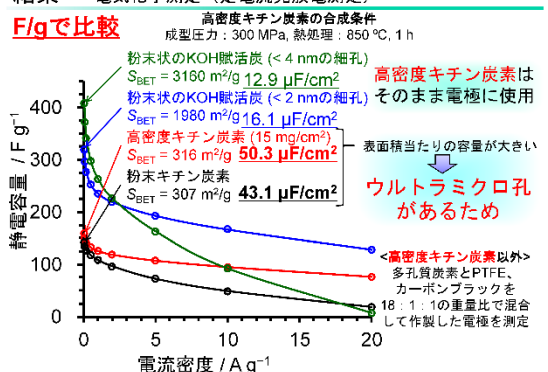
結果 ~圧力依存性・厚さ依存性・温度依存性~



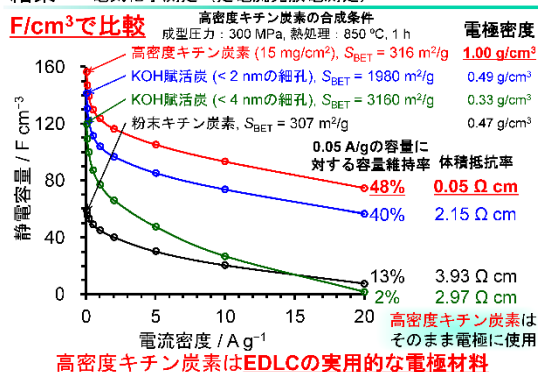
結果 ~圧力依存性・厚さ依存性・温度依存性~



結果 ~電気化学測定 (定電流充放電測定) ~



結果 ~電気化学測定 (定電流充放電測定) ~



結言

- キチンを成型してから熱処理をすることで、高い導電性を有しながら約1.0 g/cm³もの高密度な多孔質炭素が合成できた。
- 高密度キチン炭素が合成できるのは、押しつぶされたキチン粒子が積層状態で炭化し、粒子同士のパッキングが維持されるためと分かった。
- 高密度キチン炭素は、ミクロ孔と2~10 nmのメソ孔、さらにウルトラミクロ孔も有する多孔質炭素であると分かった。
- 高密度キチン炭素は、体積あたりの容量が高く優れたレート特性を有するEDLCの実用的な電極材料であると分かった。

【謝辞】

CO₂吸着測定は、石井孝文 准教授 (群馬大学) の支援を受けた。

7. 北陸地方 Y 風力発電所における冬季落雷観測結果および-10°C層高度との関係

(1) 研究概要

今日再生可能エネルギーなどの CO₂ 排出の少ない発電が注目されている。その一つに風力発電があり、我が国では風況の良い日本海沿岸地域に多くの風車が設置されている。一方、日本海沿岸地域は冬季雷の多発地域であり、落雷による風車への被害も多く発生している。

そのため、風力発電運用においては適切な雷保護対策を風車に施す必要がある。雷保護の観点から風

車への落雷状況を把握するために北陸地方 Y 風力発電所での 2011 年～2017 年までの 7 年間の落雷電流観測結果および雷放電活動に大きく関係しているとされている -10°C 層高度との関係について検討した。なお、Y 風力発電所は富山県稲葉山の山頂付近(標高約 350m)にあり、3 基の風車で構成されている。そして落雷観測は一番南に設置されている 1 号機を対象に実施した。

2011 年から 2017 年までの 7 年間に合計 72 例の落雷電流を観測できた。そのうち 1 例は 8 月に観測し、その他 71 例は 11 月から 3 月までの冬季の 5 カ月間に観測した。今後この 71 例についての検討を行った。

極性別の観測数では正極性が 17 例、負極性が 41 例、両極性が 13 例であった。負極性落雷が 58 %と半数以上あるが、正極性が約 1/4 の 24 %、両極性が約 1/5 の 18 %あった。

観測で得られた落雷電流の最大電流値の累積頻度 50%値は、正極性、負極性、両極性でそれぞれ 6.33kA、5.5kA、6.97kA となった。そして最大の電流値は負極性で 40.95kA であった。累積頻度分布を全体でみると、いずれの極性においても同じような分布傾向がみられたが、正極性の落雷は他と比べ若干最大電流値が大きい傾向があった。

電気量の累積頻度 50%値は正極性、負極性、両極性でそれぞれ 48.9C、38.53C、99.03C で、両極性の落雷は他の 2 つの極性の落雷に比べ約 2 倍であった。本観測での最大の電気量は正極性の 233.44C であった。累積頻度分布を全体でみると両極性が他 2 つの極性に比べ右寄りになっており電気量が大きい傾向を示している。また、正極性は負極性に比べ若干、電気量が大きい傾向があった。そして 100C を超える落雷を 16 回(22%)観測しており、継続時間の長い冬季雷の特徴が関係していると考えられる。

落雷と -10°C 層高度との関係については、観測で得られた落雷の最大電流値と電気量について極性毎の落雷の規模及び -10°C 層高度との比較を行った。なお落雷時の稲葉山上空の -10°C 層高度は観測地点に近い気象庁の輪島特別地域気象観測所の観測データより推定した。

今回、落雷が観測できた時の -10°C 層高度は 1000～3500m の間のみであった。そして 2500～3000m の時が一番多かった。また、極性毎の -10°C 層高度をみると負極性、両極性の落雷は -10°C 層高度が 1000～3500m の間に散らばっていた。一方、正極性落雷については 2000m より高い高度の時しかなかった。

最大電流値と -10°C 層高度との関係においては、最大電流値が大きい落雷(20kA 以上)では、正極性は -10°C 層高度による違いはほとんどなかったが、負極性、両極性は -10°C 層高度が低い場合しかなかった。電気量と -10°C 層高度関係においては、100C 以下の落雷は -10°C 層高度が 1000～3000m の間に散らばっているが、150C 以上の落雷に関しては電気量が大きくなるにつれ -10°C 層高度も高くなっている傾向が判明した。

(2) 研究内容報告



Y 風力発電所における冬季落雷観測結果 および -10°C 層高度との関係

目次

1. はじめに
2. 落雷観測体制
3. 落雷観測結果
4. 冬季落雷と -10°C 層高度との関係
5. まとめ

1. はじめに

我が国では風力発電施設は風況の良い日本海沿岸に多く建設されている。
しかし、この日本海沿岸地域は冬季雷の多発地域であり、風力発電施設での雷被害対策が必要である。



本研究では北陸地方の稲葉山にあるY風力発電所における2011年から2017年（7年間）の落雷電流観測結果およびその結果と -10°C 層高度との関係について検討した結果を示す。

2. 落雷観測体制



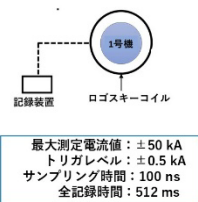
1/11

2/11

2. 落雷観測体制



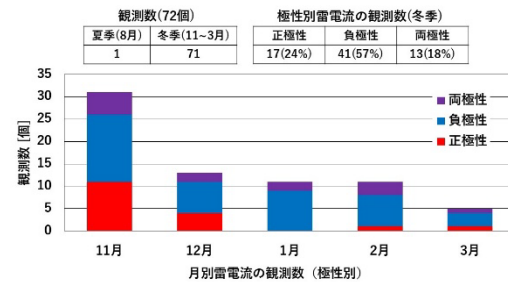
Y風力発電所1号機と観測機器



Y風力発電所1号機における観測体制

3/11

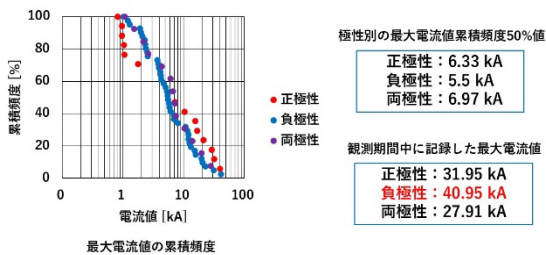
3. 落雷電流観測結果(2011年から2017年)



4/11

3. 落雷電流観測結果

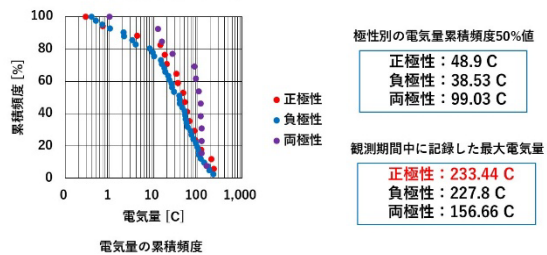
・最大電流値の累積頻度(極性別)



5/11

3. 落雷電流観測結果

・電気量の累積頻度(極性別)



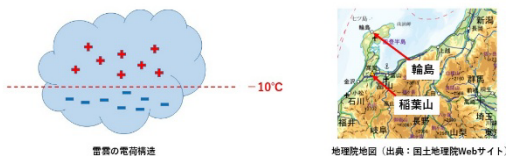
6/11

4. 冬季落雷と -10°C 層高度との関係

雷放電活動の度合いに関しては -10°C 層との関係性が報告されている。



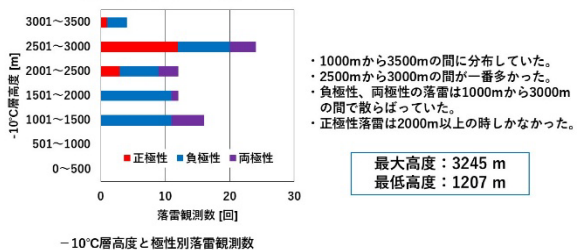
Y風力発電所の落雷電流観測結果と -10°C 層高度との関係を調査、検討した。



7/11

4. 冬季落雷と -10°C 層高度との関係

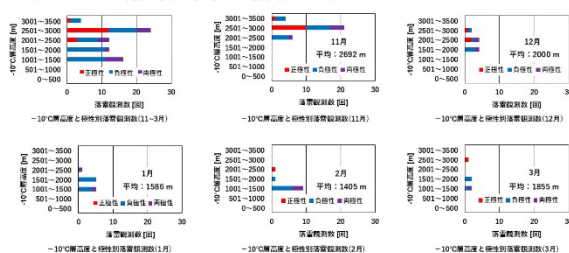
・ -10°C 層高度と極性別落雷観測数



8/11

4. 冬季落雷と -10°C 層高度との関係

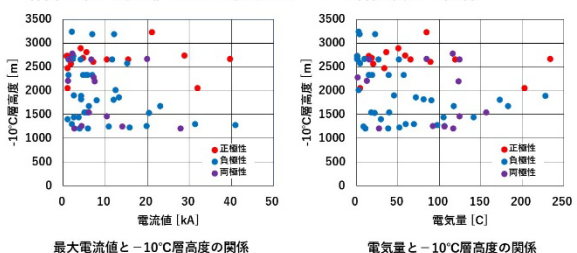
・月別 -10°C 層高度と極性別落雷観測数



9/11

4. 冬季落雷と -10°C 層高度との関係

・落雷の最大電流値および電気量と -10°C 層高度との関係



10/11

5. まとめ

- ・ Y 風力発電所において2011年から2017年までに72個の落雷時の雷電流を観測できた。
- ・ 極性別で見ると正極性の落雷は全体の24%、負極性の落雷は全体57%、両極性の落雷は全体の18%となった。
- ・ 正極性の落雷は-10℃層高度が2000m以上の時にしかなかった。
- ・ 負極性、両極性の落雷は-10℃層高度が2000m以上の時、規模の大きい落雷はなかった。

11/11

(3) 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: 42300459
- ・ 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: 42400532

8. 再生可能エネルギーによる発電装置を導入した電動発電機に関する研究

(1) 研究概要

近年、カーボンニュートラルの実現に向けて、再生可能エネルギーに関する研究および発電効率向上に関して開発が進められている。しかし、再生可能エネルギーを利用した分散型電源は慣性力を保持しておらず、電源の硬直化による大規模な電源脱落の発生時、周波数の低下により大規模な停電に至るリスクがある。そのため、分散型電源に擬似的な慣性力を持たせる検討がなされている。その研究の一つに電動発電機(MG セット)について提案がなされている。本論文では MG セットに注目し、再生可能エネルギーが導入された系統における MG セットの効果について、以下の項目について実験的検討し成果を得た。

(1) PV 電源使用時の MG セットの動特性

MG セットを導入した系統に対して、PV 電源使用時であっても、通常の回転系発電機同様の挙動を示すのか検討を行った。その結果、三相電源を用いた場合の挙動と同様の結果を示すことができ、PV 電源を用いた系統は、通常の回転系発電機同様の挙動を示すことが確認できた。

(2) MG セット有無による慣性力の検討

電源として PV を使用し、PCS から直接負荷に接続した場合と、PCS と負荷の間に MG セットを導入した場合の比較を行い、MG セットの導入により、通常太陽光発電のシステムのような分散型電源は持っていない慣性力を有するか検討を行った。その結果、負荷変動による突入電流の発生を抑制し、PCS の波形を改善することが確認できた。また、PV 出力の急激な電圧変動を抑制できた。このことから、MG セットを導入することによる、慣性力による安定度の向上を確認できた。

(3) PV 電源と蓄電池の併用による検討

MG セットを導入した系統に対し、給電を太陽光発電装置と蓄電池の併用により行った際の検討を行った。その結果、PV の電力不足分を補い、安定した電力を供給することが確認できた。このため、蓄電装置の導入を行い、併用していくことが必要不可欠であることが確認できた。。

(2) 研究内容報告

再生可能エネルギーによる発電装置を 導入した電動発電機に関する研究

愛知工業大学 大学院工学研究科
博士前期課程 電気電子工学専攻
電力システム工学研究室(雪田研究室)
V23727 山下晟生

1. 研究背景・目的

●現代の電力状況

- 2020年「2050年カーボンニュートラル」
- 2021年「第6次エネルギー基本計画」
→太陽光発電 2030年の電源割合の
14~16%程度の目標
→再生エネルギー導入拡大の重要性は高まる

●課題

再生エネルギーの割合が多い状態で大規模な電源脱落が発生すると、周波数の低下により連鎖的に電源が脱落し、**大規模な停電に至るリスク**がある

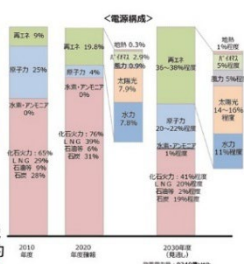


図1 新たなエネルギーミックス実現への道のり
[出典] 経済産業省 HP

2025年2月10日 大学院博士前期課程修士論文発表会

1/18

2. 電源の違いによる発電機動揺

●MGセット(電動発電機)



図2 MGセット

- 「M-Gセット」とは、電動機(M)と発電機(G)を組み合わせた装置
- MGセットを介して系統連系しても、MGセットの効率は90%以上なので、慣性力を得るための効率低下を考えると、問題ない

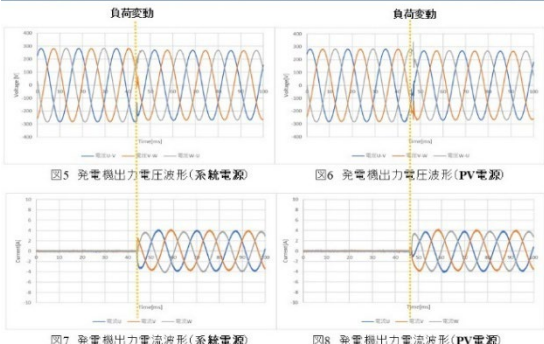
表1 使用機器定格

使用機器	定格
系統電源	3Φ 200V
PV (APL)	2kW 一定出力
PCS	定格出力 10kW 最大電圧 600V 定格入力電圧 400V
インバータ	容量 3.7kW INPUT 25.1A, AC 200-240V OUTPUT 17.5A, 240V(Max)
誘導電動機	容量 2.2kW, 220V, 8.6A
同期発電機	容量 2kW, 220V, 5.25A
直流電源	NF DC100V
総合負荷装置	抵抗(総合負荷装置) 容量 3kVA

2025年2月10日 大学院博士前期課程修士論文発表会

3/18

2. 電源の違いによる発電機動揺



2025年2月10日 大学院博士前期課程修士論文発表会

5/18

目次

- 研究背景・目的
- 電源の違いによる発電機動揺
- MGセット有無による発電機動揺
- PVと蓄電池併用時の発電機動揺
- シミュレーションによる制御系評価
- まとめ

2025年2月10日

大学院博士前期課程修士論文発表会

1. 研究背景・目的

●課題に対する解決策

- 疑似的な慣性力の開発
- 非同期電源とMGセットを接続した発電装置の研究
- 再生エネルギーを接続したモータと発電機を同軸上に配置した「MGセット」の構築

系統事故時等においても回転系の発電機と同様な挙動を示し、電力システムの安定化に貢献することができる

■本論文の目的

検討項目

- 再生エネルギーに対し、MGセットを接続した場合による電動機の動揺
- PVと蓄電池を併用した場合、PV単独の場合の比較
- シミュレーションによる制御系

2025年2月10日

大学院博士前期課程修士論文発表会

2/18

2. 電源の違いによる発電機動揺

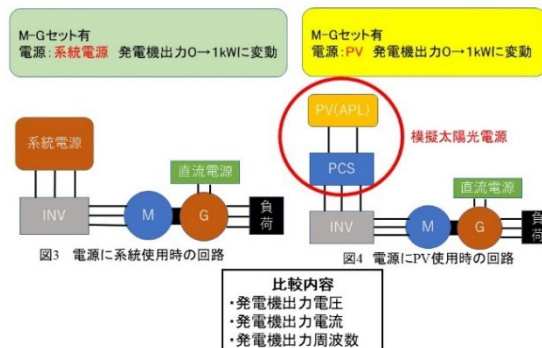


図3 電源に系統使用時の回路

図4 電源にPV使用時の回路

比較内容
・発電機出力電圧
・発電機出力電流
・発電機出力周波数

2025年2月10日

大学院博士前期課程修士論文発表会

4/18

2. 電源の違いによる発電機動揺

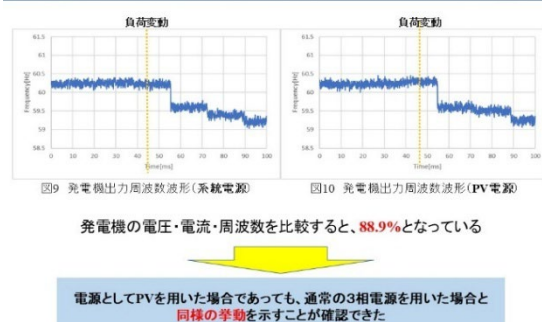


図9 発電機出力電圧波形(系統電源)

図10 発電機出力電圧波形(PV電源)

発電機の電圧・電流・周波数を比較すると、**88.9%**となっている

電源としてPVを用いた場合であっても、通常の3相電源を用いた場合と同様の挙動を示すことが確認できた

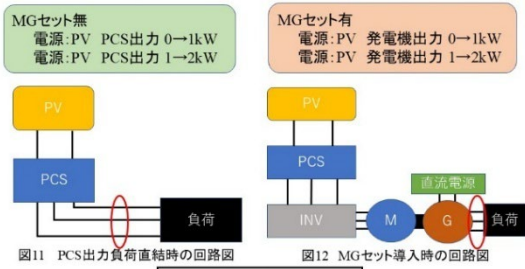
2025年2月10日

大学院博士前期課程修士論文発表会

6/18

3.MGセット有無による発電機動揺

AIT 愛知工業大学

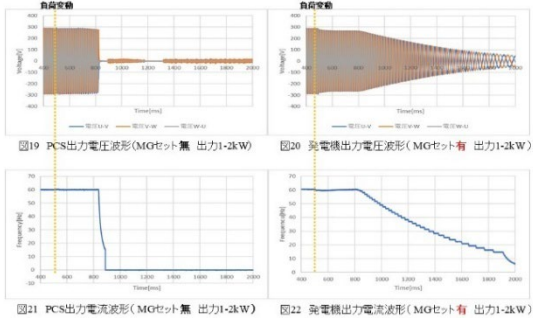


比較内容
・(PCS・発電機)出力電圧
・(PCS・発電機)出力電流
・(PCS・発電機)出力周波数

2025年2月10日 大学院博士前期課程修士論文発表会 7/18

3.MGセット有無による発電機動揺

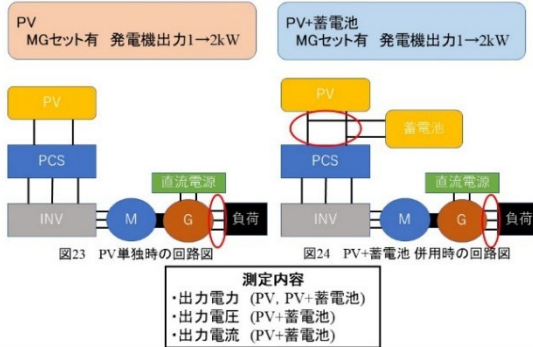
AIT 愛知工業大学



2025年2月10日 大学院博士前期課程修士論文発表会 10/18

4.PVと蓄電池併用時の発電機動揺

AIT 愛知工業大学



測定内容
・出力電力 (PV, PV+蓄電池)
・出力電圧 (PV+蓄電池)
・出力電流 (PV+蓄電池)

2025年2月10日 大学院博士前期課程修士論文発表会 12/18

5.シミュレーションによる制御系評価

AIT 愛知工業大学

●自動電圧調整器(AVR)

・自動電圧調整器AVR
…同期機の励磁装置内に設置されており、変動する電圧を自動で調整し、一定の電圧にして出力する装置。

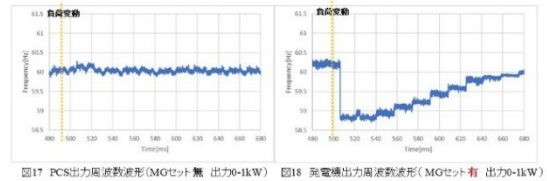
・系統安定化装置PSS
…発電機の回転速度や出力の変化を検出して、安定化信号をAVRに入力し、制動力を増加させる装置。



2025年2月10日 大学院博士前期課程修士論文発表会 14/18

3.MGセット有無による発電機動揺

AIT 愛知工業大学



●MGセット有無による発電機動揺

- ・電圧・電流ともに同様な波形となった
- ・突入電流が抑制された
- ・周波数が低下した

通常の回転系発電機同様の挙動を示すことが確認できた。
このことから、従来の太陽光発電システムは持っていない、
慣性力を持たせることができた

2025年2月10日 大学院博士前期課程修士論文発表会 9/18

3.MGセット有無による発電機動揺

AIT 愛知工業大学

●慣性定数の算出

- ・発電機の慣性力の指標として、慣性定数Mが挙げられる
- ・慣性定数M[s]は以下の式で表せる

$$M = \frac{f_0}{\Delta f} \cdot \frac{\Delta P}{P_{rate}} \cdot \Delta t [s]$$

・ f_0 : 定格周波数[Hz]
・ Δf : 周波数変化量[Hz]
・ ΔP : 電力変化量[W]
・ P_{rate} : 定格出力有効電力[W]
・ Δt : 時間変化量[s]

- 上式、表2より、
- ・MGセット無時の慣性定数
 $M = 0.0267[s]$
- ・MGセット有時の慣性定数
 $M = 1.33[s]$

MGセット接続による、
慣性定数の付与が確認できた

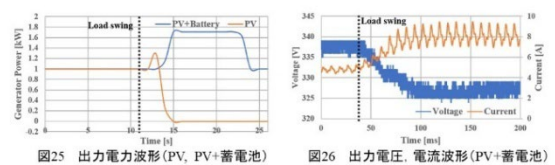
表2 計測パラメータ

	MGセット無	MGセット有
f_0 [Hz]	60	60
Δf [Hz]	45	45
ΔP [kW]	2.0	2.0
P_{rate} [kW]	2.0	2.0
Δt [ms]	20	1000

2025年2月10日 大学院博士前期課程修士論文発表会 11/18

4.PVと蓄電池併用時の発電機動揺

AIT 愛知工業大学



●PVと蓄電池併用時の発電機動揺

- ・PVと蓄電池を併用することで脱落することなく電力が供給できた
- ・電圧、電流においても安定している

PV出力不足時であっても、電動発電機を導入した系統を駆動させることが確認できた
このことから、蓄電装置を用いることで安定した電力の供給が可能となった

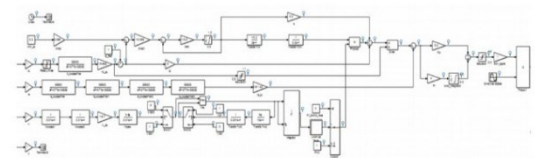
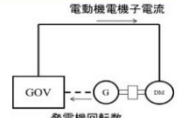
2025年2月10日 大学院博士前期課程修士論文発表会 13/18

5.シミュレーションによる制御系評価

AIT 愛知工業大学

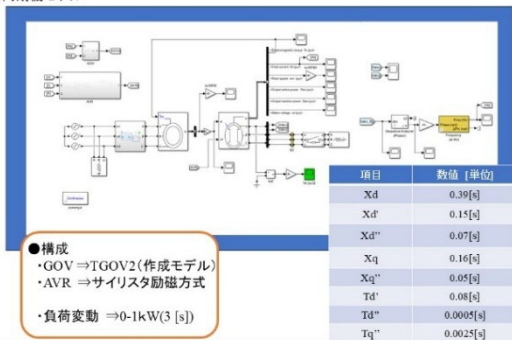
●調速機(GOV)

調速機GOV(Governor)
…回転機から回転速度の変化を検出して回転速度を一定に調節する装置。



2025年2月10日 大学院博士前期課程修士論文発表会 15/18

●同期機モデル



2025年2月10日 大学院博士前期課程修士論文発表会 16/18

検討概要

- ◆ 再エネ系統に、MGセットを接続した場合による電動機の動揺
- ◆ PVと蓄電池を併用した場合、PV単独の場合の比較
- ◆ シミュレーションによる制御系開発

検討結果

- ✓ 電源としてPVを用いた場合であっても、通常の3相電源を用いた場合と同様の挙動を示すことが確認できた
- ✓ 電源解列時の急激な電圧・周波数の変動を抑制し、負荷変動時の突発電流を抑制することが確認できた
- ✓ PVの電力不足分を補い、安定した電力を供給することが確認できた
- ✓ 負荷変動時であっても、GOVにより周波数を制御することが確認できた

2025年2月10日 大学院博士前期課程修士論文発表会 18/18

●シミュレーション結果

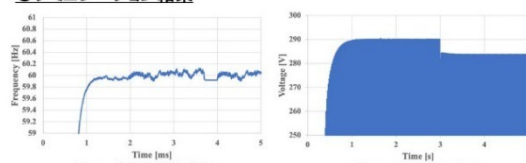


図33 出力周波数波形

図34 出力電圧波形

- ・ GOV制御は負荷変動を検知し、出力電力を増加させることにより周波数は制御されている
 - ・ AVR制御は電圧を上昇させることはできなかった
- ➡ 負荷変動時であっても、GOVにより周波数を制御することが確認できた
 しかしながら、AVRは制御することはできなかった

2025年2月10日 大学院博士前期課程修士論文発表会 17/18

3) 主な使用機器

- ・固定資産登録品名: 高速バイポーラ電源, 資産番号: 41601066
- ・固定資産登録品名: パワーアナライザ装置一式, 資産番号: 42100727
- ・固定資産登録品名: デジタルオシロスコープ, 資産番号: 42200624
- ・固定資産登録品名: 高効率システム電源ブースタ, 資産番号: 41501160

9. 環境要因における送配電線用非接触センサー出力低下についての検討

(1) 研究概要

本研究は、送電線の設備点検業務の安全性向上に関する研究であり、具体的には、送電線用故障評定システムと高圧負荷開閉器投入確認装置の開発を実施するものである。

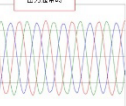
まず、送電線用故障評定システム(FLS)は送電線に落雷故障や断線故障などが発生した場合、故障位置を判別する機器である。通常、鉄塔の上部に設置されるが、設置状況の経年劣化により、粉塵や雨により検出センサーが汚れると故障位置の判定が低下してくることが報告されている。この検出センサーの汚損を無くすために、現状は定期的な清掃を実施しており、経済的にも人材的にも難しい状況にある。そこで、この検出センサーに関して、メンテナンス作業を軽減するとともに、故障発生時における判定精度を維持できるようにできれば、これまで以上に電力品質の確保や電力の安定供給に貢献できる。

そこで本研究では、汚損に強い検出センサーの開発ならびに改良を主眼として研究を実施する。特にセンサーは、静電容量を検出する手法を用いているため、汚損を軽減するための技術として、光触媒や汚

本研究では、実際に送電線に設置されるセンサーを用いて、汚損に強く、検出感度を向上させる装置の開発を実施した。

[illegible]

2. 研究の目的



出力正常時



出力低下時

通常より
80%低下

送電線路用故障検定システムで用いられる電圧センサ出力は、センサ表面が汚れることで出力低下し最終的に0付近まで低下してしまう。

センサの筐体は金属、この筐体は故障に接されているため、接地されている。そのため、汚れが蓄積した状態で雨の降ると、絶縁性能が低下した結果、接地された筐体と架線との間で出力が低下。

また、表面のテフロン板は通常高抵抗だが、汚れることで絶縁性能が低下し、蓋も接地された状態となるため、コンデンサ結合比の変化により出力が低下する。

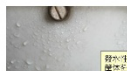


図3 電圧センサー出力の低下例

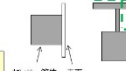


図3 筐体との接続イメージ

図4 汚れた電圧センサー

目標> 汚れても電圧センサ出力低下を20%以内に抑える。

→センサ表面と、筐体が設置しないようなセンサカバーを作成

3. 研究内容

試験方法



表1. 試験方法

No.	試験項目	カバークラス	ひきし タイプ	平均カバークラス
(1)	汚しセンサー	基準値		
(2)	汚しセンサー 水濡れ	測定値		
(3)	汚しセンサー 汚しかバー	測定値		測定値
(4)	(1)に水濡れ (かけながら)	測定値		測定値
(5)	(1)に水濡れ (かけ終わる)	測定値		測定値

項目(1)の汚れた状態のセンサーをカバークラスで測定したものを基準値とし、項目(2)の汚したセンサーを濡らした状態、項目(3)のカバークラスも汚れた状態、項目(4),(5)のセンサーが汚れた状態のまま濡れたカバークラスを濡らした状態を測定。水濡れ試験は水をかけながら水をかけた後の両方を測定。

$$\frac{(\text{基準値} - \text{測定値})}{\text{基準値}} \times 100\%$$
 で結果をまとめる

出力の低下、水濡れによりセンサーの筐体部分に接地しないかどうかを評価

3. 研究内容

試験結果(カバーなし)

乾燥(基準値) 8.60[mV]

図10.汚れセンサ

水濡れ後 測定不可

図11.汚れセンサ+水濡れ

2025.1.27

1.送電線路用故障判定システムについて

RIT 愛知工業大学

送電線用非接触センサーの原理

＜回路イメージ＞

図2.送電線用非接触センサー

3. 研究内容

カバーの作成

ひさしカバー → センサー正面を濡らさず、筐体と接触しないようにする



- ・ヒッパー加工が済んでいる
- ・耐湿、耐温度が保たれる
- ・センサー筐体と接触しない構造
- ・ヒッパー加工後の大きさ190mm×190mm程度

図7.ひさしカバー



- ・縦・横 245mm
- ・厚さ 9mm



図6.電圧センサー

平面カバー → センサーのテフロン板の部分が濡れなければよいのではないかと




- ・材質は銅板
- ・210mm×210mmのセンサー部分があるカバー

図8.平面カバー

3. 研究内容

汚れ

図9.汚れたセンサリとカバー

・汚損水には、泥や塩などが混ざっており、塩害などの被害も想定されている。

・どちらも汚すことにより、センサ表面が雨により塵埃とつながらないことが確認でき、また、カバーにより雨が当たらないかというカバーの構造の評価も得られる。

2025/1/27

3. 研究内容

試験結果(ひさしカバー)

乾燥 8.60[mV]

図12.汚れセンサー+汚れひさしカバー

減少率0%

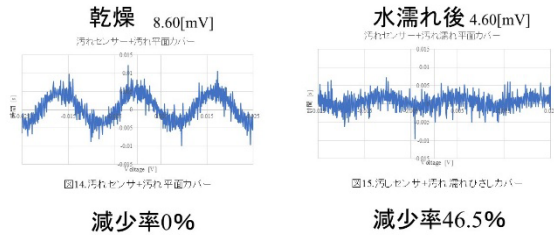
水濡れ後 8.60[mV]

図13.汚れセンサー+汚れ濡れひさしカバー

減少率0%

2025.1.27

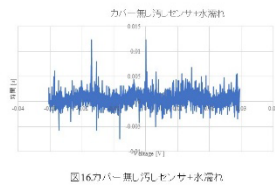
試験結果(平面カバー)



2025/5/27

11

平面カバーの出力が下がった原因



カバー無しのセンサーも電圧が測定不可能なまでに減少した。
これと同じように平面カバーも水をかけることで筐体と接地したとしてみなされるため電圧が減少したと考えられる。
また、センサーのテフロン板部分は濡れていないのに、出力が減少したことから、センサーの正面が濡れたり、汚れたりすることも出力が低下する原因となるため、正面が汚れずに、カバーができるということが必要だと考えられる。
もしくは、平面カバーの構造に問題があったと考えられる。

2025/5/27

13

試験結果(全体)

表2.試験結果

	試験項目	カバー無し	ひさしかバー	平面カバー
(1)	汚しセンサー	8.60mV (基準値)		
(2)	汚しセンサー+水漏れ	測定不能		
(3)	汚しセンサー+汚しカバー		8.60mV (0%)	8.60mV (0%)
(4)	(1)に水漏れ (ふけながら)		8.60mV (0%)	4.60mV (46.5%)
(5)	(1)に水漏れ (ふけ終わる)		8.60mV (0%)	4.60mV (46.5%)

8.60mVが基準。
項目(3)の乾燥状態では出力は変化なし。
項目(5)は平面カバーが46.5%出力が減少。

研究の結果、ひさしかバーの構造で出力の変化が見られなかったことから、カバーの構造としては、表面にかぶせるものよりも、センサーの周りに取り付けられるような形が向いているということがわかった。

今後の課題として、高電圧での実験を行うこと。カバーが風などの被害も浴びないのかというような実践的なことも確認することなどが課題となってくる。

2025/5/27

14

(3) 主な使用機器

- 固定資産登録品名: デジタルオシロスコープ RTA 特別パッケージ, 資産番号: 41900829
- 固定資産登録品名: 送風試験機, 資産番号: 40601092

10. 地域マイクログリッドにおける配電系統の電圧解析に関する研究

(1) 研究概要

本研究では日の出地区に地域マイクログリッドを構築することを目的とし、連系モデル、自立モデルの負荷変動に対する潮流計算と自立モデル時の EVT を用いた地絡故障をシミュレーションで行った。

潮流計算でのシミュレーションでの結果と標準電圧の電圧変動を比べると自立モデルと連系モデル共に電圧が安定していることが分かった。また自立モデルの電圧変動ではフェランチ効果が原因で電圧上昇が起こった。そして自立モデルの有効電力、無効電力をシミュレーションし、皮相電力を求めることから蓄電池の容量を超過しないことが確認できた。

地絡検出では対地静電容量が小さくなるため地絡電流が小さくなると予想し、零相電圧から地絡事故を検知する EVT を用いたシミュレーションを行った。シミュレーションの結果から EVT を用いることで地絡事故を検知できることを確認できた。

今回は潮流計算、地絡検出という地域マイクログリッドを構築する上で必要不可欠な検討をシミュレーションして行った。シミュレーション上ではどちらも構築する上で問題ないと判断できた。

考える。

(2) 研究内容報告

地域マイクログリッドにおける配電 システムの電圧解析に関する研究

研究背景・研究内容

2050年にカーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目標再生可能エネルギーが普及

マイクログリッドの構築

マイクログリッドとは・・・

分散型電源を用いて電力供給を行う
小規模な送配電ネットワーク

本研究では・・・

マイクログリッドを地域に組み込んだ

地域マイクログリッド

について行う

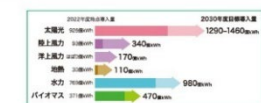


図1 再生可能エネルギーの普及(2030年)

地域マイクログリッドのメリット
・持続可能な地域社会の実現

・エネルギーの地産地消
・レジリエンスの向上 etc.

1/11

対象モデル

対象モデル：静岡県静岡市清水区 清水港「日の出地区」

日の出地区は、清水港のほぼ中央部に位置し、港湾機能の一翼を担いつつ、商業・業務施設が集積し、賑わいのある景観が形成されており、水辺の近接性や富士山への眺望等を活かした、港町の景観形成のシンボリックな役割を担う重要な地区。

施設
・マリンターミナル
・マリンパーク
・マリンビル
・倉庫 etc



図2 日の出地区施設



図3 日の出地区

3/11

システムモデル

自立モデル・・・太陽光発電、蓄電設備を用いて独立して運転



図7 需要・太陽光発電量

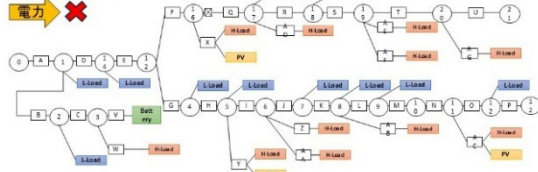


図8 自立モデル

5/11

目次

- ・ 研究背景、内容
- ・ 研究目的
- ・ 対象モデル
- ・ システムモデル
- ・ シミュレーション条件
- ・ シミュレーション結果
- ・ まとめ

研究目的

目的

本研究では**日の出地区に地域マイクログリッドを構築すること**を目的としている。

(1) 潮流計算（実効値解析）

マイクログリッドでは需要の変動、太陽光発電による逆潮流などによる要因で電圧変動が起こることが考えられる。
そのため、実装前に挙動を把握する必要がある。

(2) 地絡故障（瞬時値解析）

マイクログリッドでは地絡電流が小さく、地絡故障の検出が困難である。
そこで本研究で扱っている地域マイクログリッドで接地形計器用変圧器(EVT)を用い、地絡検出ができるか検討を行う。

2/11

システムモデル

連系モデル・・・系統電力と太陽光発電設備をもちて電力供給

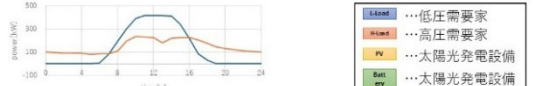


図4 需要・太陽光発電量

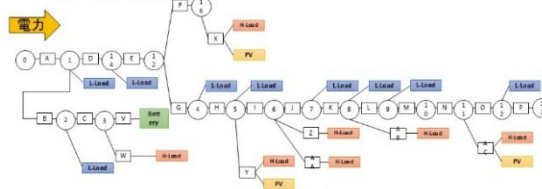


図5 連系モデル

4/11

シミュレーション条件

(1) 潮流計算

連系モデル、自立モデルの2パターン

太陽光発電量、需要量に対して潮流計算を行う

連系モデル：12~13 hで蓄電池が1900kWh充電、18~19 hで1900kWh放電

PU法で計測 基準容量 10MVA 基準電圧 6600 V

(2) 地絡検出

自立モデルでEVTを蓄電設備前に設置し、

地絡検出を行う。U-21で地絡

シミュレーション時間：0.5s

地絡開始時間：0.25s

EVTにかかる電圧、地絡電流を計測

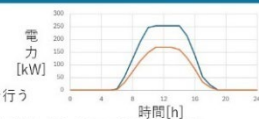
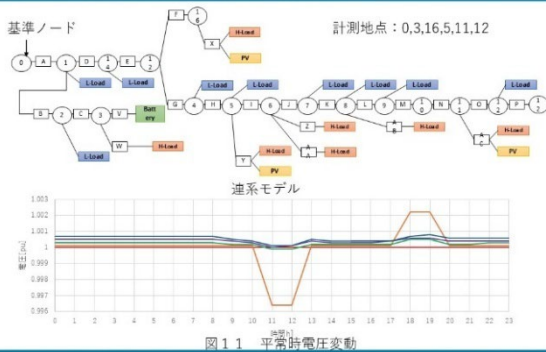


図9 EVT回路図

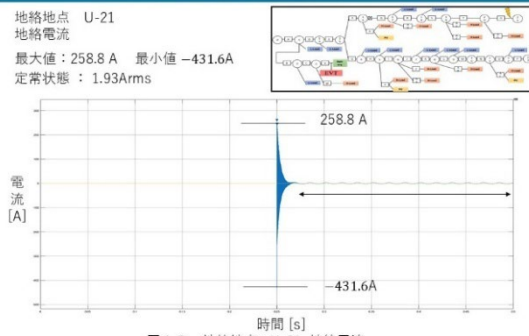
6/11

シミュレーション結果 (1) 潮流計算



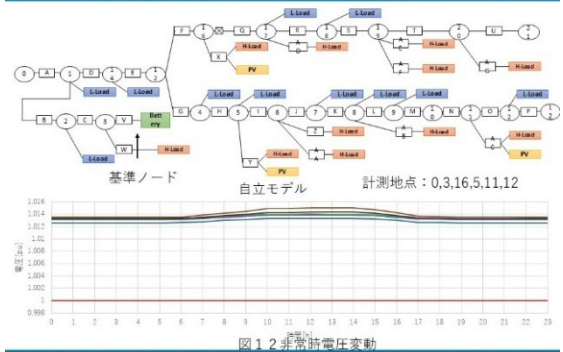
7/11

シミュレーション結果 (2) 地絡検出



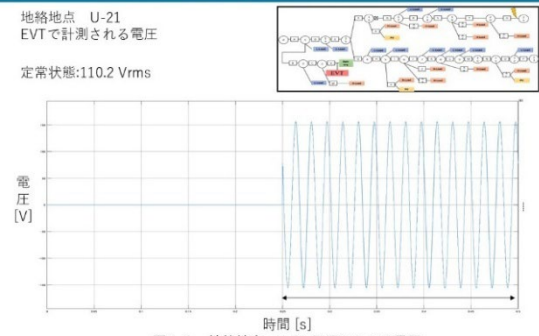
10/11

シミュレーション結果 (1) 潮流計算



8/11

シミュレーション結果 (2) 地絡検出



11/11

まとめ

(1) 潮流計算

標準電圧の最大の電圧変動率 ($101 \pm 6V$: 約6%、 $202 \pm 20V$: 約10%) からみても比較的安定していると考えられる。

自立モデルでは連系モデルの時と異なり、最大1.51%の電圧変動がみられた。

これはフェランチ効果の原因だと考えられる。

(2) 地絡検出

研究モデルにEVTを導入し地絡検出可能であることを確認した。

地絡電流では地絡開始時に瞬間的な約400Aほどの大電流が流れる

今後の展望
・零相電圧検出器での地絡検出
・直流送電の検討

11/11

(3) 主な使用機器

- 固定資産登録品名: 風力発電システム用パワーコンディショナー, 資産番号: 417013464
- 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: クランプオンプローブ 3274, 資産番号: 42000608
- 固定資産登録品名: 電源品質アナライザ, 資産番号: 41100960

11. 直流システムにおけるアーク故障検出アルゴリズムの開発に関する研究

(1) 研究概要

近年, 電気設備や配線を原因とする火災, いわゆる電気火災の発生件数が増加している。中でも,

太陽光発電システムなど直流回路における事故が深刻な問題となっている。これは、交流では電流が周期的にゼロになるため、アークが発生しても自然に消滅しやすいが、直流では電流が途切れないためアークが持続しやすく、火災リスクが高まることに起因する。直流給電システムなど直流の利用が拡大する中、安全な電力利用のためにはアーク放電の検出技術が不可欠となる。直流回路においてアークが発生すると、高周波成分を含む電流が重疊することが知られているが、一方で、回路に接続されたインバータなどのスイッチング機器から発生するノイズが検出を困難にするという報告もある。

これまでは、直流回路におけるノイズの特性を明らかにするため、まず電源の種類ごとのノイズの違いを調査してきた。その結果、スイッチング電源が最もノイズを多く発生させ、次に整流平滑電源、最も少ないのが太陽光パネル電源であることがわかった。また、太陽光パネルにパワーコンディショナを接続すると、そのスイッチングノイズが回路に重疊することも確認された。続いて、アーク放電による信号の変化を調べるため、電圧と電流条件を一定に保った実験をスイッチング電源で行った。結果、アーク放電時には非発生時に比べて顕著なノイズが観測され、特に特定の周波数帯において強いノイズが生じることが分かった。また、発生距離によって高周波成分（特に MHz 帯域）のノイズの大きさも変化する傾向が見られた。これらの結果から、アーク放電時には直流回路に特徴的なノイズが重疊し、その周波数特性や距離依存性に関する知見が得られた。これに基づき、アーク発生を検知するための装置の開発が可能となった。

本研究では、アークの発生を検出するだけでなく、アークの発生箇所の特定制を目指し、アーク故障検出回路、アーク故障検出信号生成回路、アーク故障検出アルゴリズムを開発した。具体的には、アーク発生時に直流回路に重疊したノイズを、電流センサによって取得し、検出回路に入力する。検出回路は入力された信号を処理することにより、アーク発生の有無を検知する信号とアークの発生した位置を推定するための信号とを生成する。これらの生成された信号をアーク故障検出アルゴリズムにより解析することによって、アーク故障の発生、および、アーク発生点と電流センサの位置がどの程度離れているかを判別することが可能となった。

(2) 研究内容報告

直流システムにおけるアーク故障検出 アルゴリズムの開発に関する研究

研究背景

● 電気火災に関して

- 電気設備機器や電気関係の配線などが原因となって発生する火災
交流:トラッキングやケーブルのショート、半断線など
直流:太陽光発電における端子・コネクタの
接触不良やケーブルの断線

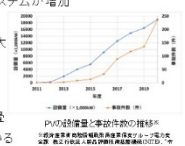


● 直流利用の増加と課題

- 近年、再生可能エネルギーの利用促進に伴い、太陽光発電システムが増加
- 断線等の事故時には高温のアーク放電が発生する
→放電が持続しやすいため、火災事故へと発展する危険性大
- アーク放電検出技術の確立が必要とされている

● アーク放電検出手法

- アークが発生すると回路上に高周波ノイズ(アークノイズ)が重疊
→このノイズを測定し、アークを検出する手法が提案されている



研究背景

● 太陽光発電システムにおけるアーク故障検出

- IEC 63027:2023(国際規格)やUL 1699B(アメリカ規格)で太陽光発電システムにおけるアーク故障の検出及び遮断の能力基準と試験方法を規定
- NEC2011(米国電気工事規格)により直流アーク故障保護装置の設置が義務付けられている
- 日本では、NEDOが「地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2019年版」でアーク故障検知・遮断装置の利用が推奨されている。

● アーク故障検出の誤検知

- パワーコンディショナ(PCS)のスイッチングノイズにより、アーク故障検出で誤作動が問題。
- アーク発生ストリングは特定できても、配線上のアーク発生箇所の位置の推定はできない。

☑太陽光発電システムに重畳しているノイズを確認

☑比較的低周波のアークノイズを利用した、アーク発生時に検出信号を生成する装置の開発

☑開発した検出装置による、太陽光発電用コネクタ間で発生するアーク故障の検出

☑比較的高周波のアークノイズを利用した、アーク発生時に検出信号を生成する装置の開発

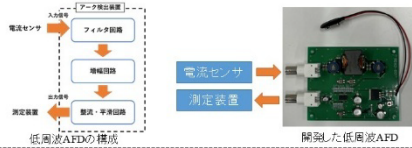
☑一部の周波数帯でアークノイズが減衰することを発見

☑アークノイズの減衰を利用したアーク発生箇所推定の検討



低周波AFDの開発と性能評価

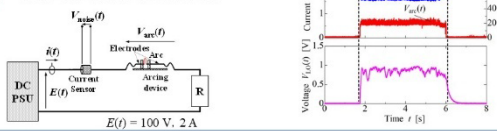
● 周波数帯①のアークノイズを利用する低周波アーク故障検出装置(低周波AFD)を開発



● 低周波AFDの動作確認

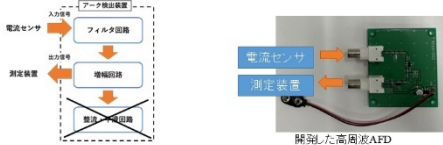
- 直流回路でアークを起こし、低周波AFDの出力を測定

☑アーク発生時に、約1Vの出力を確認



高周波AFDの開発と性能評価

● 周波数帯②のアークノイズを利用する「高周波アーク故障検出装置(高周波AFD)」を開発



● 高周波AFDの動作確認

- 直流回路でアークを起こし、高周波AFDの出力を測定

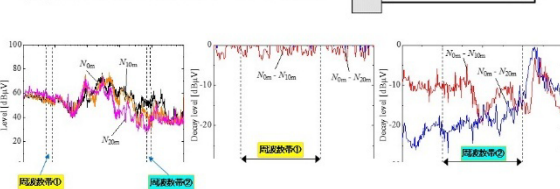
☑アーク発生時に、約0.2 V_{p-p}の出力を確認



アークノイズの距離依存性調査

- アーク発生箇所を起点として、回路に取り付ける電流センサとの距離に応じてアークノイズが変化するか否か調査を実施

- アーク発生箇所から電流センサまでの距離Dを0, 10, 20 mに変化させた場合のアークノイズを測定



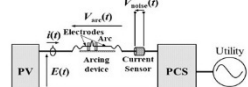
● 結果

- 周波数帯①: アークノイズの減衰量は比較的小さい
- 周波数帯②: 距離が大きくなるほど減衰している

太陽光発電システムでのアークノイズの調査

● 太陽光発電システムにおける各種ノイズの調査

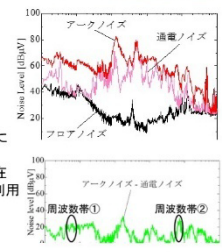
- 本学の太陽光パネルをPCSに接続し、スイッチングノイズが存在しない周波数帯の有無を調査
- PCS動作中に回路上でアークを発生させ、アークノイズの測定も実施



● 結果

- kHz帯~MHz帯の幅広い範囲でスイッチングノイズに起因すると思われるノイズの存在を確認
- アークノイズと通電ノイズに差がある周波数帯が存在
→ 周波数帯①と周波数帯②をアーク故障検出に利用
- 下記二つのアーク故障検出装置(AFD)を開発する

- 周波数帯①を利用した、**低周波AFD**
- 周波数帯②を利用した、**高周波AFD**



太陽光発電用コネクタにおけるアーク故障の検出

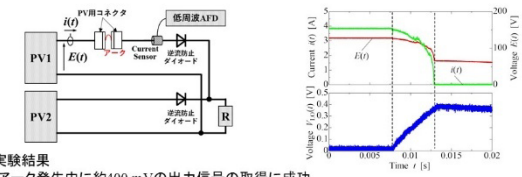
● 太陽光発電用コネクタにおけるアーク故障

- 異なるブランドのコネクタの嵌合や施工時の締め付けの緩さ、災害での衝撃による意図しない緩みなどが原因で、コネクタ間でアーク故障が発生、発火する事例がある



● MC4コネクタが外れた際の低周波AFDの動作検証

- 太陽光発電システムの発電中にMC4コネクタを外し、低周波AFDの出力を測定

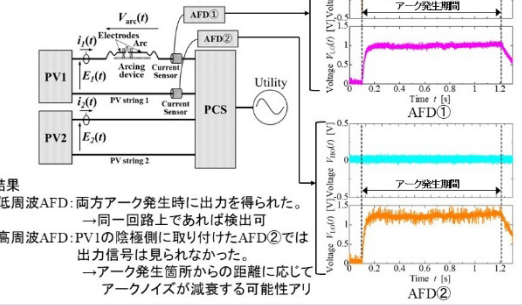


● 実験結果

- アーク発生中に約400 mVの出力信号の取得に成功

開発したAFDの太陽光発電システムにおける動作検証

● 太陽光発電システム上のアーク発生側、未発生側の両方にAFDを取り付けた際のAFDの動作を検証 (AFD→高周波AFD+低周波AFD)



● 結果

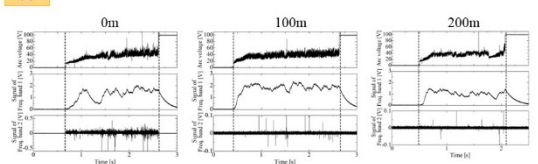
- 低周波AFD: 両方アーク発生時に出力を得られた。
→ 同一回路上であれば検出可
- 高周波AFD: PV1の陰極側に取り付けたAFD②では出力信号は見られなかった。
→ アーク発生箇所からの距離に応じてアークノイズが減衰する可能性アリ

アーク発生箇所からの距離に応じたAFDの動作

- D = 0~200mまで20m毎に変化させた際の低周波AFDと高周波AFDの動作について確認
⇒ 距離が遠くなるほど、高周波AFDから出力されるパルス状の電圧の頻度、積算値が小さくなる

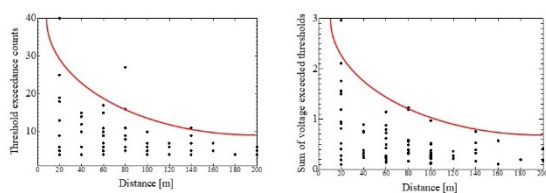


例



アーク発生箇所からの距離に応じたAFDの動作

- 同様の実験を、0~200mまで20m毎に実施
距離が遠くなるほど、高周波AFDから出力について、
閾値を超える回数、閾値を超えた際の電圧の積算値が小さくなる
→アーク発生箇所からの距離の推定に利用できる可能性



まとめ

概要

近年の太陽光発電システムの普及に伴い、事故件数が増加している。
事故の原因の一つとしてアーク故障が挙げられる。事故を防ぐには、このアーク故障を早期に検出し、電流を遮断することが重要である。

検討項目

・アークノイズを利用したAFDの開発及び性能の検証

検討結果

・二つの周波数帯を利用したAFDをそれぞれ作成し、
アーク発生時における検出信号の取得に成功した。
・アーク発生箇所から電流センサまでの距離が遠くなるにしたがって、
アークノイズが減衰することを発見した。
・アークノイズの減衰を利用し、開発したAFDがアーク発生箇所を
特定できる可能性を発見した。

(3) 主な使用機器

- ・固定資産登録品名：プログラマブル直流電源 VP600-2.5R-3, 資産番号：42300507
- ・固定資産登録品名：模擬配電系統設備 PV ジェネレータ（1 2）, 資産番号：41201423
- ・固定資産登録品名：パワーコンディショナ評価システム, 資産番号：41801216
- ・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：電流プローブ(横河計測 型番:701933), 資産番号：42400301