

第2章 研究内容報告

1. インバータ電源大量導入時におけるインバータ力率の設定法の提案

(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、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。このためにインバータの力率制御は広く用いられてきたが、適切な力率については明らかとなっていない点が多い。

電流制御形インバータ電源の大量導入時に生じる電圧変動を抑えるためのインバータ電源の力率設定方法として、背後インピーダンスの R/X 比に応じた適切なインバータ力率を決定する手法を提案した。すなわちインバータ端電圧の最大値が目標とした値となるように背後インピーダンスの R/X 比に応じた適切なインバータ力率を選定し、その力率により定力率運転を行えば、インバータ出力に変動があってもインバータ電圧を安定に維持できることを示した。

また、この場合、背後インピーダンスの R/X 比が違っても、インバータ端の皮相電力－電圧曲線は同一となることも明らかとした。

(2) 研究内容報告

Outline

Proposal of a Novel Method for Selecting a Power Factor of an Inverter in a Power System with High Penetration of Inverter-Interfaced Generations

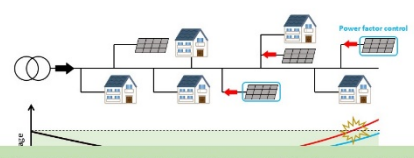
Yasuaki Yamada, Toshiya Nanahara, Kazuto Yukita
(Aichi Institute of Technology)

Outline

- Background
- About the system model and $p-v$ curve
- Proposal of a Novel Method for Selecting a Power Factor
- Discussion on the short-circuit ratio of an inverter
- Conclusions

Outline

Background



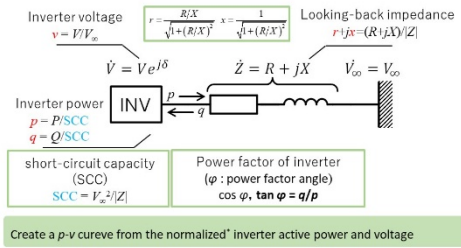
We will propose a novel method to determine a power factor for inverter-interface distributed generation.

In the proposed method, we try to stabilize the voltage at the inverter terminal, based on power-voltage characteristics (P-V curves) of the power system.

- Background
- About the system model and p - v curve
- Proposal of a Novel Method for Selecting a Power Factor
- Discussion on the short-circuit ratio of an inverter
- Conclusions

AIT

5 / 17



AIT

6 / 17

The complex power relationship equation and Ohm's law

$$P + jQ = V e^{j\delta} \bar{I}, \quad \bar{I} = \frac{V e^{j\delta} - V_{sc}}{R + jX}$$

$$\bar{V} = V e^{j\delta} \quad (\text{pu}) \quad \bar{Z} = R + jX \quad V_{sc} = V_{sc}$$

From these two equations

$$(RP + XQ - V^2)^2 + (RQ - XP)^2 = (VV_{sc})^2$$

In constant power factor control, $Q = P \tan \varphi$

$$(R'P - V'^2)^2 + (X'P)^2 = (VV_{sc})^2$$

$$R' = R + X \tan \varphi \quad X' = X - R \tan \varphi$$

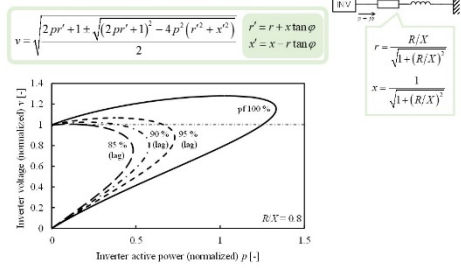
Normalization will result in

$$v = \sqrt{\frac{2pr' + 1 \pm \sqrt{(2pr' + 1)^2 - 4p^2(r'^2 + x'^2)}}{2}}$$

$$r' = r + x \tan \varphi \quad x' = x - r \tan \varphi$$

AIT

7 / 17



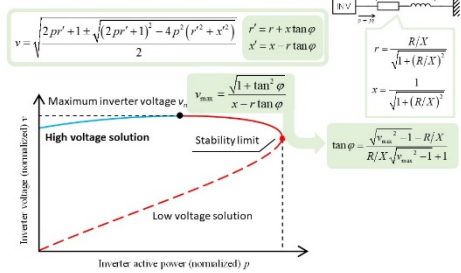
AIT

8 / 17

- Background
- About the system model and p - v curve
- Proposal of a Novel Method for Selecting a Power Factor
- Discussion on the short-circuit ratio of an inverter
- Conclusions

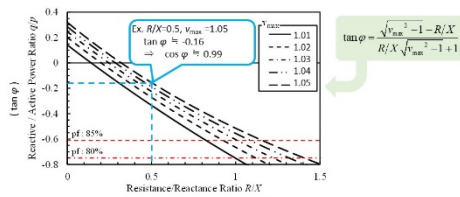
AIT

9 / 17



AIT

10 / 17



Once the higher limit for inverter voltage is specified, the power factor of an inverter can be determined according to the R/X ratio as shown in figure.

AIT

11 / 17

- Background
- About the system model and p - v curve
- Proposal of a Novel Method for Selecting a Power Factor
- Discussion on the short-circuit ratio of an inverter
- Conclusions

AIT

12 / 17

● Applies to p-v curve

$$v = \sqrt{\frac{2p' \pm \sqrt{(2p')^2 - 4r^2(r'^2 + x'^2)}}{2}}$$

Change to a function of inverter active power p

$$p = \frac{r'^2 \pm \sqrt{(r'^2 + x'^2)}v^2 - (x'v)^2}{r'^2 + x'^2}$$

$$p = \frac{v}{v_{\max}} \left(v_{\max}^2 - 1 \pm \sqrt{v_{\max}^2 - v^2} \right) \cos \phi$$

Since $p = s \cos \phi$ using the inverter apparent power s

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

● r' and x' of proposal power factor

$$r' = r + x \tan \phi$$

$$x' = x - r \tan \phi$$

$$\tan \phi = \frac{\sqrt{v_{\max}^2 - 1} - R/X}{R/X \sqrt{v_{\max}^2 - 1} + 1}$$

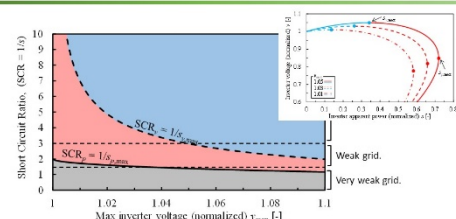
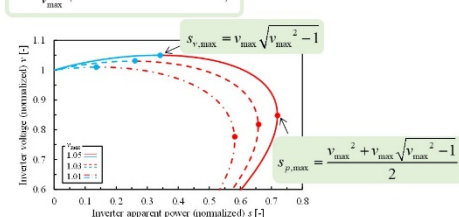
$$\cos \phi = \frac{\sqrt{v_{\max}^2 - 1} + x}{v_{\max}}$$

$$r' = \frac{\sqrt{v_{\max}^2 - 1}}{r \sqrt{v_{\max}^2 - 1} + x} = x' \sqrt{v_{\max}^2 - 1}$$

$$x' = \frac{1}{r \sqrt{v_{\max}^2 - 1} + x} = \frac{1}{v_{\max} \cos \phi}$$

Discussion of inverter capacity to be interconnected using s-v curve

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



If the maximum inverter voltage $v_{\max}$ is, for example, supposed to be 1.05, SCR, in the domain becomes approximately three.

- Background
- About the system model and p-v curve
- Proposal of a Novel Method for Selecting a Power Factor
- Discussion on the short-circuit ratio of an inverter
- Conclusions

- ✓ The paper proposed a method to determine a power factor for an inverter in a power system with high penetration of current-control type inverters.
- ✓ The method determines the power factor by considering the R/X ratio of the looking-back impedance of an interconnected system as well as a maximum voltage in a p-v curve.

(3) 主な使用機器

- ・ 備品登録名：ノートパソコン，資産番号：42000705

2. 短絡容量比から見たインバータ電源の導入限界の物理的意味の解明

(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、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。このため、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、その評価指標として短絡容量比 SCR (Short-Circuit Ratio) が用いられる場合が多い。電圧変動が顕在化する指標として SCR としては 1.5~3.0 程度が一つの目安とされているが、その値は経験則の色彩が濃く、その物理的意味については明らかとされていない。

本研究では、一機無限大母線系統モデルでの SCR について、皮相電力-電圧特性を用いればそ

の物理的意味が明確になることを示し、皮相電力を用いて定義した SCR に対して電圧安定性の観点での下限を明らかとした。力率一定制御のインバータの SCR は 2 以上である必要がある。

また、インバータ力率を可変制御する場合、SCR の下限値は力率一定制御のインバータよりも小さくなるものの、SCR は約 1 以上でなければならないことを明らかとした。

(2) 研究内容報告

短絡容量比から見たインバータ電源の 導入限界の物理的意味の解明

山田康暉（電力システム工学研究室_七原研）

研究背景と目的

背景

- 太陽光・風力発電などのインバータ電源が増加している
- これら電源が増加した場合には、電圧変動の問題が生じる



目的

- インバータ電源導入の限界について物理的な意味を明らかとする
- 電圧変動を効果的に抑制する力率制御手法を提案する



短絡容量比の概要

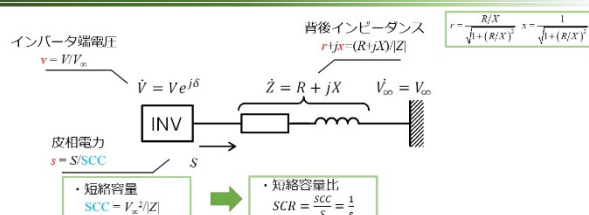
SCRに関する目安

文献	SCRの限界値
太陽光発電所に関するWECCガイドライン ¹	SCRが3以下で電圧安定性の問題が発生する傾向
HVDCにおける最小のSCRに関する研究 ²	HVDCではSCRが1.5で最小
インバータの動的無効電力制御が電圧安定性に与える影響に関する研究 ³	SCRが2.6~1.3の範囲で電圧不安定現象が生じた(制御系のパラメータに依存する)
低いSCRの系統への風力発電所連系の実証 ⁴	SCRが1.74の系統に大規模な風力発電所を連系

定常的な電圧安定性からSCRの限界値に関する物理的な意味を明らかとする

1. WECC: Solar Photovoltaic Power Plant Modeling and Validation Guide line (2015)
2. I. W. Gonzalez et al.: Feasibility of HVDC for Very Weak AC Systems with SCR below 1.5, International Power Electronics and Motion Control Conference (2006)
3. 田嶋 浩: 低SCR系統におけるインバータの動的無効電力制御が電圧安定性に与える影響に関する研究, 電気学会論文誌C 132(22)
4. P. C. Kjaer et al.: Experiences with Wind Power Plants with Low SCR, IEEE PES General Meeting (2015)

分析対象のモデル

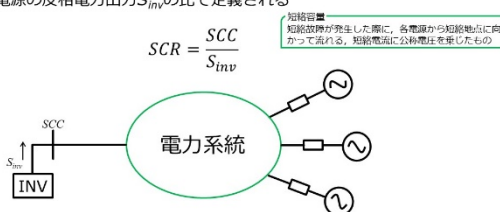


もくじ

- ◆ 研究背景と修論の概要
- ◆ 分析対象のモデルとs-v曲線の概要
- ◆ インバータを定力率で運転した場合での短絡容量比の限界
- ◆ インバータ端電圧を一定に制御する場合での短絡容量比の限界
- ◆ まとめ

短絡容量比の概要

- ・ 短絡容量比 (Short circuit ratio, SCR) の定義
⇒ インバータ電源が連系される母線の短絡容量 (Short circuit capacity, SCC) とインバータ電源の皮相電力出力 S_{inv} の比で定義される

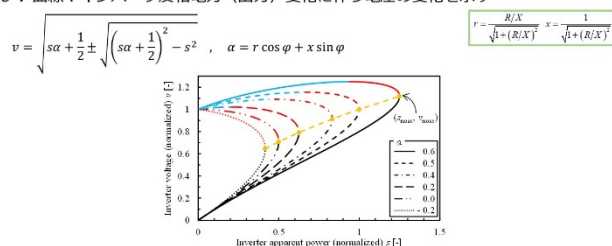


もくじ

- ◆ 研究背景と修論の概要
- ◆ 分析対象のモデルとs-v曲線の概要
- ◆ インバータを定力率で運転した場合での短絡容量比の限界
- ◆ インバータ端電圧を一定に制御する場合での短絡容量比の限界
- ◆ まとめ

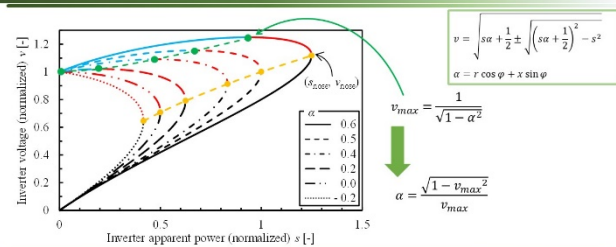
s-v 曲線の分析

s-v 曲線: インバータ皮相電力 (出力) 変化に伴う電圧の変化を示す



- ◆ 研究背景と修論の概要
- ◆ 分析対象のモデルとs-v曲線の概要
- ◆ インバータを定力率で運転した場合での短絡容量比の限界
- ◆ インバータ端電圧を一定に制御する場合での短絡容量比の限界
- ◆ まとめ

最高インバータ電圧 v_{max} と α の関係

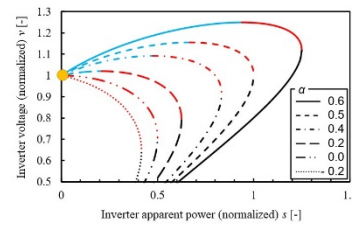


v_{max} を定めた場合の α を用いて、電圧上昇を抑制した条件でのSCRの限界を検討

- ◆ 研究背景と修論の概要
- ◆ 分析対象のモデルとs-v曲線の概要
- ◆ インバータを定力率で運転した場合での短絡容量比の限界
- ◆ インバータ端電圧を一定に制御する場合での短絡容量比の限界
- ◆ まとめ

- ◆ 研究背景と修論の概要
- ◆ 分析対象のモデルとs-v曲線の概要
- ◆ インバータを定力率で運転した場合での短絡容量比の限界
- ◆ インバータ端電圧を一定に制御する場合での短絡容量比の限界
- ◆ まとめ

定力率運転時のs-v曲線上での動作点

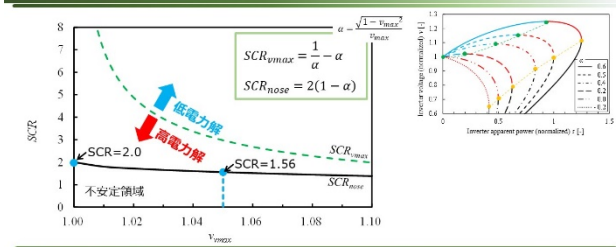


定力率運転時

$$\alpha = \arccos \varphi + x \sin \varphi \rightarrow \text{一定}$$

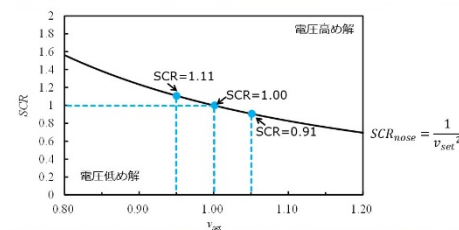
- ある α のs-v曲線上で動作する
- 連系点電圧が上昇・低下する
- ⇒ 電圧上昇の限界を考慮する必要がある

定力率運転時のSCRの下限值



最高インバータ電圧1.00~1.05に対して、SCRの下限は2.0~1.56となる

インバータ電圧を定めた場合におけるSCRの下限值

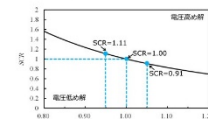
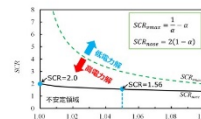


インバータ電圧を0.95~1.05とする場合には、SCRの下限は1.11~0.91となる

本発表のまとめ

本発表では、力率制御により電圧変動を抑制した場合での、短絡容量比の下限値を明らかにした

- ✓ 定力率運転の場合：端子電圧1.00~1.05に対して、SCRの下限は2.0~1.56
- ✓ 可変力率運転の場合：端子電圧0.95~1.05に対して、SCRの下限は1.11~0.91



(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応答の可能性評価

(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、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、これば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）」をもとに、火力発電の簡略化モデルを組込んだ簡易 AGC30 モデルを作成した。このモデルを用いて火力発電モデルに含まれるレートリミッタと EDC の制御対象である周期が数十分程度の需給インバランスの関係について検討を行った。

そして、需給制御の1つである経済負荷配分制御（EDC）について、特に需給インバランスを周波数成分に分けて分析した際に EDC の制御領域の変動が顕著に見られる原因について分析した。その結果、火力発電のレートリミッタは、需給制御でしばしば見られる数十分周期の需給変動に大きな影響を及ぼすことが明らかことを明らかにした。

(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 -火力発電のレートリミッタが 需給バランスに及ぼす影響の分析-

〇青木 祥 山口麗雄 七原俊也
津坂亮博 雪田和人（愛知工業大学）

目次

- ・研究背景・目的
- ・経済負荷配分制御（EDC）について
- ・シミュレーションに使用したモデル・火力発電の簡易モデル
- ・シミュレーション条件
- ・シミュレーション結果・考察
- ・まとめ

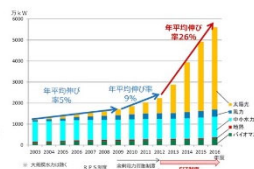
2/17

研究背景

- ・再生可能エネルギー電源の増加が見込まれる
- ・しかし、再エネ電源は出力変動が大きく、制御・予測が難しい

そのため、需給制御の高度化が必要である。需給制御の中でも経済負荷配分制御（EDC）の重要性が増している。

経済負荷配分制御の特性改善によって需給バランスにどのような影響があるのかを検討する。



出典：資源エネルギー庁「2019—日本が迎えているエネルギー問題（白書）」

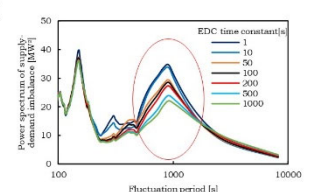
3/17

研究目的

先行研究¹⁾では、AGC30を用いて負荷配分制御の制御周期と時定数を変化させることによる影響の分析を行った。

EDCの性能改善には変動周期600秒～3000秒付近でのパワースペクトルを抑制することが重要だと考えられる。

本研究では、火力発電のレートリミッタを変化させた場合の需給バランスに及ぼす影響について分析する。

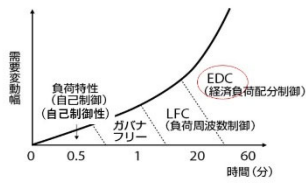


1. 青木・七原他「電力系統の経済負荷配分制御の特性改善—制御問題が制約性能に及ぼす影響の分析—」, 令和4年電気学会8部門大会(2022)

4/17

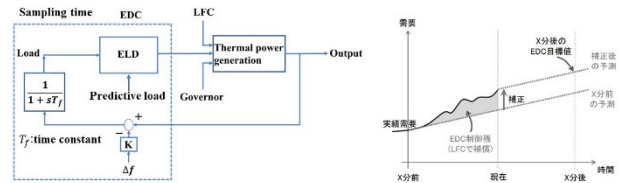
経済負荷配分制御 (EDC: Economic load Dispatching Control)

長い時間 (20分程度以上) の周期をもった周波数変動に対応するための制御法。
電力需要の変化に応じて、各発電所の出力配分を決定する。



5/17

EDCモデル・予測補正



制御周期と時定数を変更することで制御性能を変化させる

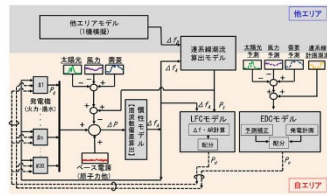
6/17

シミュレーションに使用したモデル

電気学会が開発した、需給
制御解析に適したモデル

各発電機やEDC等の制御手
法を模擬している

AGC30は多数の要素を詳細
に模擬しているため、モデル
が複雑である

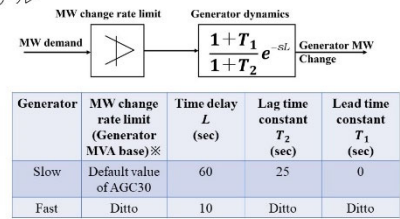


出典：電力系統解析モデル標準化調査委員会「電力学会技術報告1395号」
一般社団法人電気学会 (2015)

7/17

火力発電の簡易モデル

MW指令信号に対するレート
リミッタ
ボイラ応答を模擬するための
むだ時間要素(むだ時間L)
一次進み要素(時定数T₁)
一次遅れ要素(時定数T₂)
から構成されている

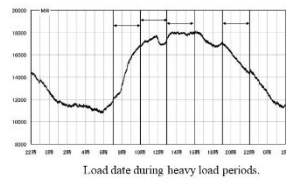


※The data on the rate limiter are the default values in AGC30
T. Inoue, H. Amano: "Load Frequency Control Logic to Utilize Generators with Long Time Delay in MW Response", 2008
Proceedings of the Eighth IASTED International Conference, Power and Energy Systems, EuroPE 2008.

8/17

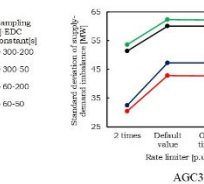
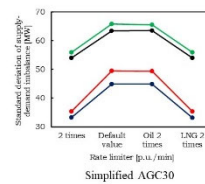
シミュレーション条件

- 対象時間：夏季の7時～10時、10時～13時、13時～16時、19時～22時 (ベースケース (重負荷期))
- EDC内のローパスフィルタの時定数：50秒, 200秒
- EDCの制御周期：60秒, 300秒
- 火力発電のレートリミッタ：1/2倍, 1倍, 2倍
- 設定値の変更対象とする火力群は以下の3パターン
 - ①全火力発電
 - ②石油火力発電のみ
 - ③天然ガス火力発電のみ



9/17

簡易モデルの妥当性



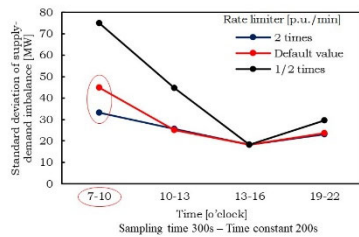
パラメータを変化させた際の挙動は概ね類似している

10/17

需給インバランスの標準偏差①

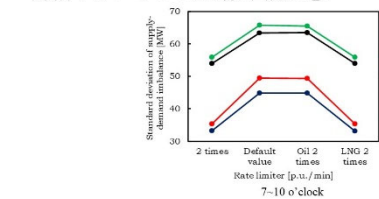
レートリミッタの設定値
を大きくすると標準偏差
が小さくなるため、検討
対象とする

7時～10時において、標
準偏差の変化が大きい



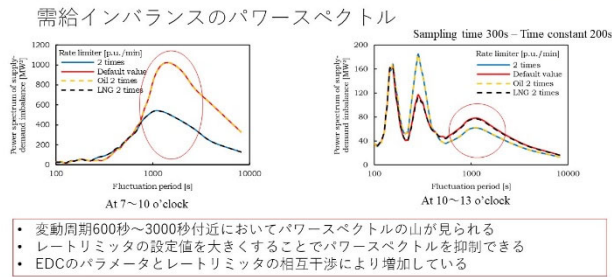
11/17

需給インバランスの標準偏差②

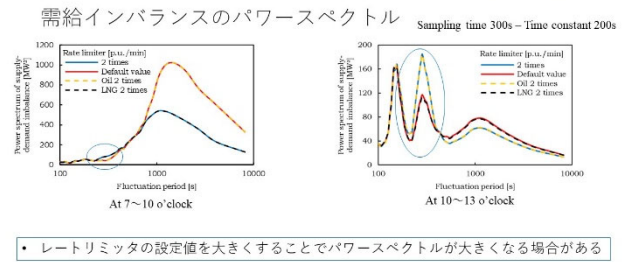


- EDCのパラメータに関係なく、同様の変化をする
- レートリミッタの設定値を大きくすると標準偏差が小さくなる

12/17



13/17



14/17

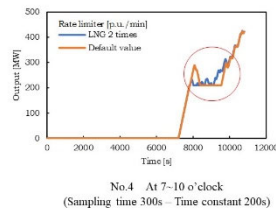
石油汽力出力波形

レートリミッタの設定値を大きくすることで、過制御を抑制できる

7時~10時は負荷が増加し続ける時間帯である



出力は継続して増加するほうがよい

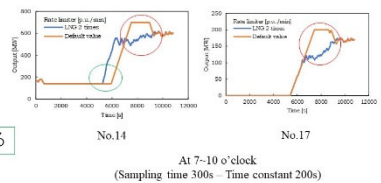


15/17

天然ガス汽力出力波形

レートリミッタを大きくすることで、発電機の不適切な動きを抑制できている

発電開始時間が変化している



16/17

まとめと今後の課題

まとめ

- 汽力発電のレートリミッタは、需給制御でしばしば見られる数十分周期の需給変動に大きな影響を及ぼしている
- レートリミッタの設定値を大きくすることで、汽力発電の不適切な動きを抑制できる
- レートリミッタの設定値を変更することで、EDCの制御領域での変動増加を抑制できるが、LFCの制御領域での変動が増加する場合がある

今後の課題

- レートリミッタの設定値を大きくした場合に発電開始時間が早くなる場合の原因究明
- EDCとLFCの制御協調のあり方の分析

17/17

(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

4. Virtual Oscillator Control インバータのパラメータ設定に関する一検討

(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の需要が高まっている中、これらはインバータを介して系統に接続されている。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。VOC は比較的簡単な回路で構成されるが、そのパラメータの適切な設定方法は明らかとされていない。

本研究では電力系統に連系された VOC を対象として、連系リアクタンスが変化した場合における特性変化について検討した。VOC のパラメータのうち、静電容量 C とリアクタンス L が特に重要であり、これらを変化させると連系リアクタンスが変化した場合に VOC 電圧の大きさが大幅に変化することが分かった。ただし静電容量 C が小さくなると連系リアクタンスが変化しても VOC 電圧の大きさがほぼ一定値に保たれる。すなわち、 C 、 L の値を調整することで、連系リアクタンスが変化した場合に対する VOC 電圧の感度を調整できることが分かった。

(2) 研究内容報告

連系リアクタンスが変化した場合における VOC インバータの特性評価

吉川陽斗* 伊坂悠吾 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

目次

1. 研究背景・目的
2. VOC インバータの概要
3. 連系リアクタンス x_0 と VOC 電圧の関係式
4. 結果・考察
5. まとめ

再エネ増大時に生じる「慣性問題」



火力、水力…回転運動を電力に変換（慣性がある）
再エネ…スイッチングで電力に変換（慣性がない）
⇒再エネ比率が増えると、慣性不足の影響で系統安定度が低下

Grid Forming Inverter

・ Grid Forming Inverter (GFM)
インバータに同期発電機を持つ慣性と同等の能力を組み込む

	Grid Following Inverter (GFL)	Grid Forming Inverter (GFM)
基本性能	系統追従型電源	系統構築型電源
オフグリッド運転	自立電源が必要	可能
慣性応答	×	○

⇒ 自律的に電圧を形成し、再エネ電源でも系統安定性が期待できる

Virtual Oscillator Control Inverter

Virtual Oscillator Control Inverter (VOC) とは

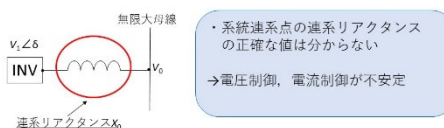
非線形回路での自励振動を用いて、電源の電圧・周波数を定める新しい方式のインバータ

特徴

実装が比較的簡単
電流を取り出して電圧制御が可能
→ それによって同期化力と同等の力が見込める
⇒ 同期発電機のように**慣性応答が可能***

※ 出典：伊坂悠吾、雪田和人、電田和人「系統周波数は下流に伝わる Virtual Oscillator Control インバータの動作特性」

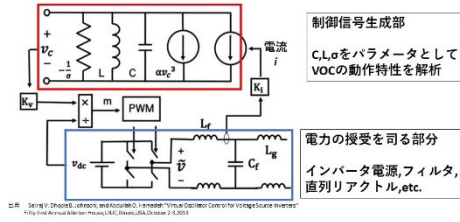
研究目的： x_0 変化時の VOC の特性解析



研究目的

連系リアクタンスが変化した場合における VOC の特性解析

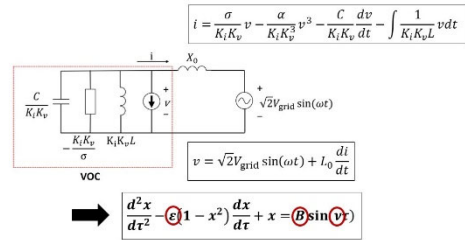
VOCの構成



出典: Daping Li, Shaojun Li, Jiahua Chen, and Guohua Li, "A Simple Virtual Impedance Control for Voltage Source Inverters," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 61, no. 1, pp. 1-11, 2014.

7

VOCの等価回路



⇒ 上式を解いてVOCの振蕩いを解析する

8

VOCを解析するための式

VOCの微分方程式

$$\frac{d^2 x}{d\tau^2} - \varepsilon(1-x^2) \frac{dx}{d\tau} + x = B \sin(v\tau)$$

変数	値
K_v	電圧増倍率
K_i	電流増倍率
S	容量
α	負性抵抗のコンダクタンス
ω	電流源の比例定数
ω	角周波数
V_{grid}	系統電圧
L_0	連系インダクタンス

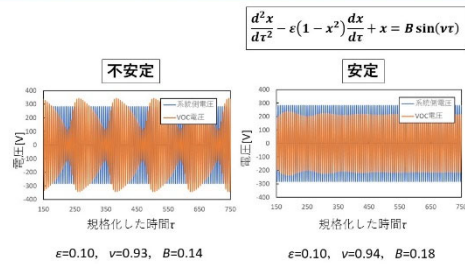
$$\varepsilon = \sigma \sqrt{\frac{L}{C}} \sqrt{\frac{L_0}{L_0 + K_v K_v L}} \quad B = \frac{6\alpha}{\sigma} \frac{K_i L}{L_0 + K_v K_v L} V_{grid} \quad v = \frac{\omega}{\sqrt{\frac{1}{CL} + \frac{K_v K_v}{CL_0}}}$$

・実際はCとLを調整してVOCを制御

⇒ 本発表では、VOCの特性解析に、 ε, B, v を適用する

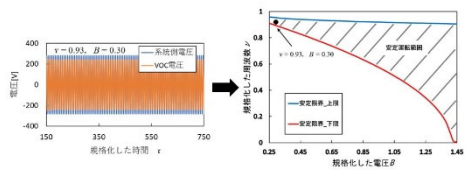
9

電圧の安定波形と不安定波形



10

VOCの安定運転範囲



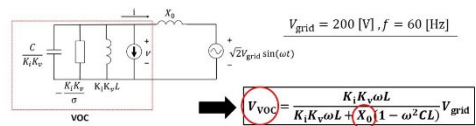
・VOCの安定運転範囲のvとBの関係は導出

⇒ 安定運転範囲はvが小さくBが大きくなるにつれ広がる

11

リアクタンス X_0 とVOC電圧の関係式

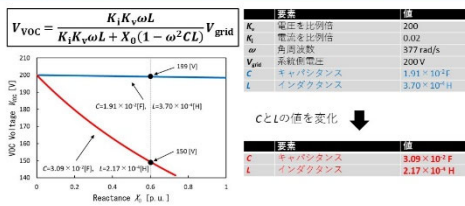
・VOCの微分方程式から、VOC電圧と連系リアクタンス X_0 の関係を表す式を導出



⇒ 連系リアクタンス X_0 が変化しときのVOCの動作特性を電圧の変化によって解析

12

X_0 が変化しときのVOC電圧



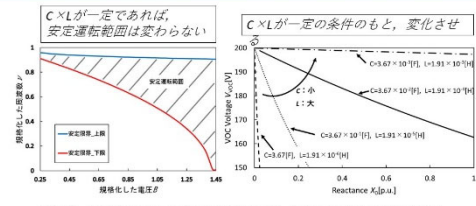
青の場合: X_0 が変化⇒VOC電圧はほぼ一定

赤の場合: X_0 が変化⇒VOC電圧が大きく変化

⇒ C, L が変化することで、 X_0 に対するVOC電圧は大きく異なる

13

C, L 選定の方針



・C×Lを一定に保てば、連系リアクタンス X_0 の変化に対するVOC電圧を決めるC, Lは任意の値で構わない

⇒ VOC電圧を測定して連系リアクタンス X_0 を推定できる可能性

⇒ 連系リアクタンス X_0 が変化してもVOCの電圧を維持できる可能性

14

まとめ

■ まとめ

- ・連系リアクタンスに対するVOC電圧の感度を調整できる
⇒VOCを連系リアクタンスの推定に利用ができる可能性
- ・ C_L を適切な値に調整することで、連系リアクタンスが変化してもVOC電圧の大きさをほぼ一定にできる
⇒連系リアクタンスが分からなくてもVOC電圧を一定に制御できる

■ 課題

- ・線路インピーダンスとして抵抗分を含めた背後インピーダンスが変化した場合のVOCの特性に関する検討

18

(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

5. LLC コンバータ用高周波変圧器に関する研究

(1) 研究概要

近年、電源システムの小型化や高効率化が求められている。LLC 共振コンバータ（以下 LLC と記す）は高周波変圧器を用いて出力電圧を変化させる。LLC は、電流共振とソフトスイッチングを両立して高効率と低ノイズを両立させている。電流共振周波数を高めることで高周波トランスを小型化することができ、結果的にシステム全体を小型化できる。さらに LLC は、ソフトスイッチング技術によって損失を低減することで高効率を実現できる上に、電圧・電流の急激な変化が生じず低ノイズを実現できる。これまでに、高周波変圧器のインダクタンスは駆動周波数の変化によって変化し、それに伴って共振周波数・共振点も変化し、結果的に LLC の出力電圧が変動することが明らかになっている。

LLC の出力電圧は電流共振を用いた周波数制御であり、周波数を変化させることによって出力電圧を変化させる。そのため、入力電圧 E の大きさについては注目されてこなかった。しかし、入力電圧 E が変化することによって励磁インダクタンス L_m にかかる電圧が変化し、高周波トランスのヒステリシスループの形状が変化して高周波トランスのインダクタンスが変化する。その結果、共振周波数 f_0 や出力電圧 V_o に影響が及ぶと考えられる。その他の高周波トランスのインダクタンスを変化させる要因には、巻線の種類（ポリウレタン線、リッツ線）、巻線の巻き方、それにコアのギャップ長がある。これらの要因が LLC の出力電圧を変化させる。

そこで高周波トランスを製作して LLC の実験回路を構成する。入力電圧 E を変化させて励磁インダクタンス L_m にかかる電圧を変化させ、高周波トランスのインダクタンスが変化することを明らかにする。高周波トランスの巻線には前述のポリウレタン線、リッツ線の 2 つを使用して出力電圧特性を比較する。巻線の巻き方の違いによる出力電圧の周波数特性の変化を明らかにする。さらに、入力電圧を低電圧一定として駆動周波数を変化させ、高周波トランスの巻線の巻き方とギャップ長を変更し、高周波変圧器の漏れインダクタンス L_r と励磁インダクタンス L_m の比率が変化し、LLC の出力電圧も変化することを明らかにする。

(2) 研究内容報告

LLCコンバータに用いる高周波変圧器と出力電圧特性

静岡理科大学 ◎長田慎一郎 中田篤史

愛知工業大学 鳥井昭宏 元谷 卓

共振周波数の変化について

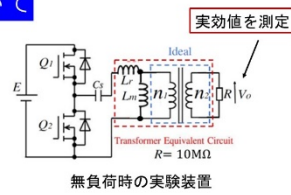
$$L = L_r + L_m$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_s}}$$

軽負荷時～重負荷時の共振点

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_r + L_m) C_s}}$$

無負荷時の共振点



共振コンデンサCsは固定であるためLが変化することで共振周波数f0も変化

Kの決定

Lrを大きくすることでkは低下

Lrを大きくすると軽負荷時にも高い電圧がでせなくなる

Lrを大きくするとLmが相対的に小さくなり励磁電流が大

巻線抵抗の損失が大

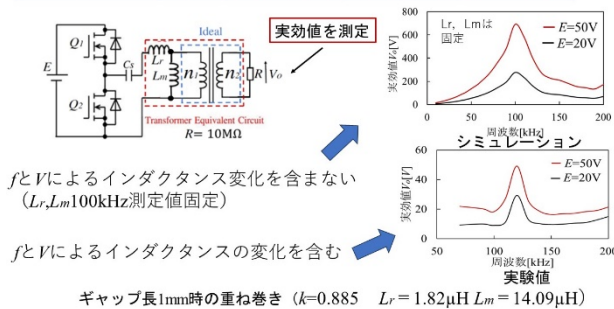
$$\frac{V_{p0}}{V_s} = \frac{1}{1 + \frac{L_r}{L_m} \left(1 - \frac{\omega_c^2}{\omega^2}\right) + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_c} - \frac{\omega_c}{\omega}\right)}$$

LLC共振コンバータの等価回路

$$\frac{V_{p0}}{V_s} = \frac{1}{1 + \frac{L_r}{L_m} \left(1 - \frac{\omega_c^2}{\omega^2}\right) + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_c} - \frac{\omega_c}{\omega}\right)}$$

$$k = \frac{L_m}{L_r + L_m}$$

ギャップ長1mm変圧器の出力電圧特性比較



研究背景

変圧器のインダクタンス値は一般的なDC/DCコンバータでは変化しないことが前提

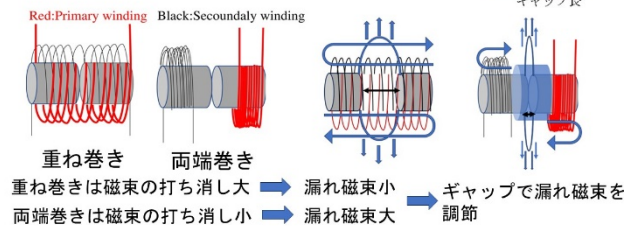
しかしLLCコンバータだけは駆動周波数で出力電圧を制御する。
駆動周波数が変化すると高周波変圧器の漏れ・励磁インダクタンスの比率が変化する。

そこで漏れ・励磁インダクタンスの変化が小さい高周波変圧器の設計

そこで設計した高周波変圧器組み込みLLCコンバータの実験回路を製作し2つの巻線を使用して入力電圧による共振周波数の変化を確認

コイルの巻き方とギャップ長

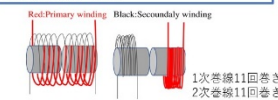
結合係数kは巻き方とギャップ長により調節が可能



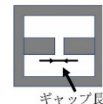
コイルの巻き方とギャップ長

LCRメータで測定

結合係数kは巻き方とギャップ長により調節が可能



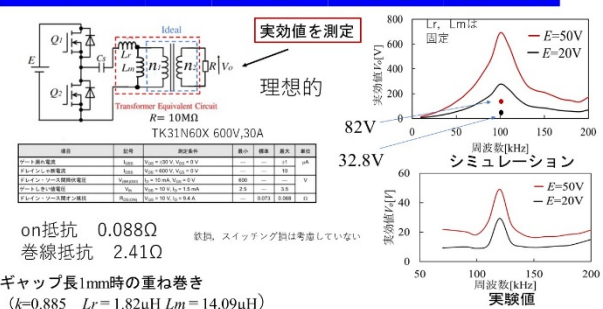
巻線にはリッツ線を使用



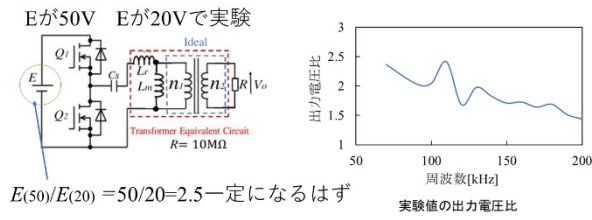
Gap (mm)	Lr [μH]		Lm [μH]		k		L change rate [%]	
	@100kHz	@100kHz	@100kHz	@100kHz	@100kHz	@100kHz	Lr	Lm
0.1	2.07	86.51	0.977	4.05	1.95	84.96	86.61	-5.73
0.3	2.07	35.44	0.945	5.11	1.96	32.73	35.49	-5.26
0.5	1.19	18.41	0.939	1.49	1.15	18.24	18.42	-3.36
0.7	2.09	16.36	0.919	6.8	1.94	11.97	16.42	-6.90
1	1.82	14.09	0.885	7.31	1.67	8.76	14.2	-8.28

Gap (mm)	Lr [μH]		Lm [μH]		k		L change rate [%]	
	@100kHz	@100kHz	@100kHz	@100kHz	@100kHz	@100kHz	Lr	Lm
0.1	11.46	79.90	0.875	13.46	11.44	78.26	79.9	-1.94
0.3	11.26	28.38	0.718	14.28	11.26	25.99	28.6	-2.03
0.5	9.92	13.32	0.573	10.67	9.92	12.97	13.32	-1.94
0.7	9.88	9.01	0.477	13.59	9.88	5.74	9.01	-2.05
1	9.57	7.77	0.448	12.14	9.57	5.61	7.77	-1.95

ギャップ長1mm変圧器の出力電圧特性比較

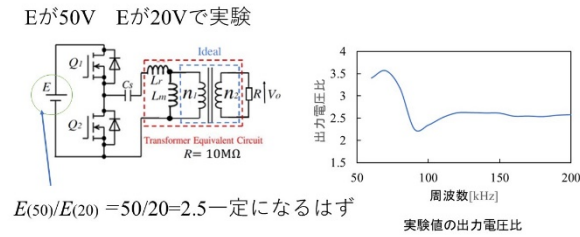


ギャップ1mmの時の出力電圧特性



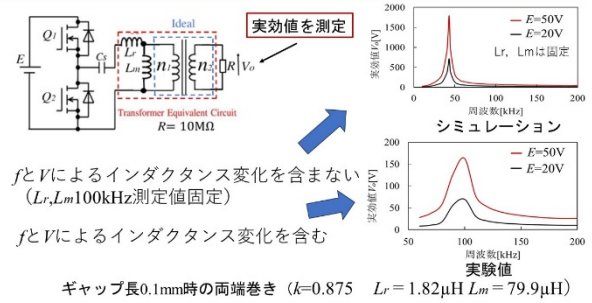
ギャップ長1mm時の重ね巻き ($k=0.885$ $L_r = 1.82\mu\text{H}$ $L_m = 14.09\mu\text{H}$)

ギャップ長0.1mmの時の出力電圧特性

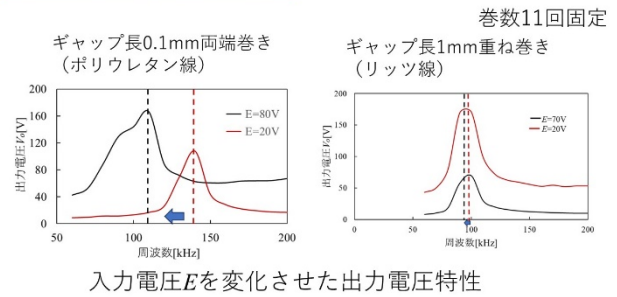


ギャップ長0.1mm時の重ね巻き ($k=0.885$ $L_r = 1.82\mu\text{H}$ $L_m = 14.09\mu\text{H}$)

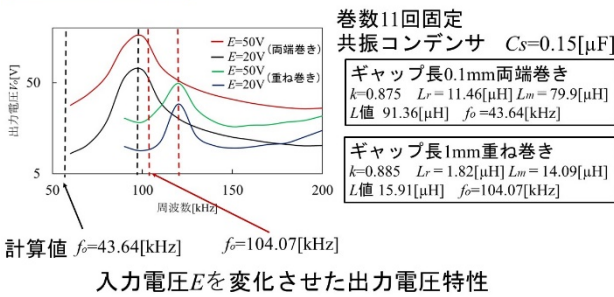
ギャップ長0.1mm変圧器の出力電圧特性比較



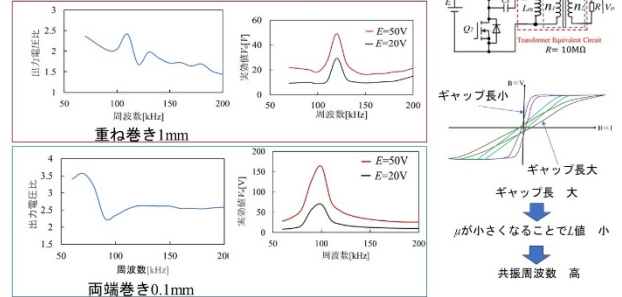
出力電圧特性 (参考)



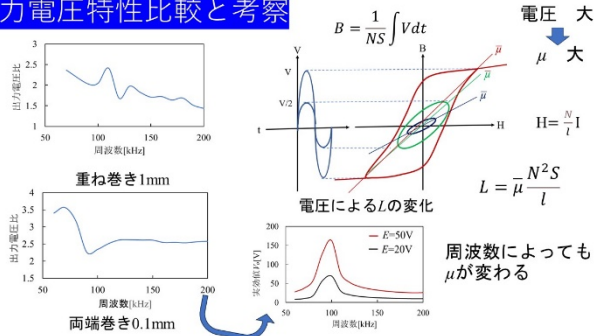
出力電圧特性



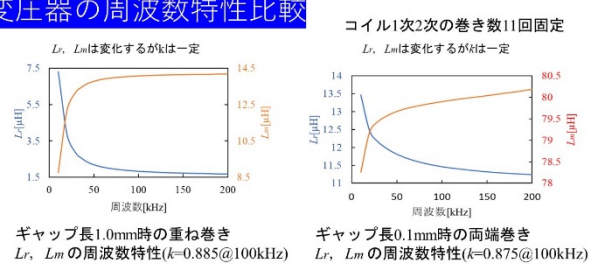
出力電圧特性比較と考察



出力電圧特性比較と考察

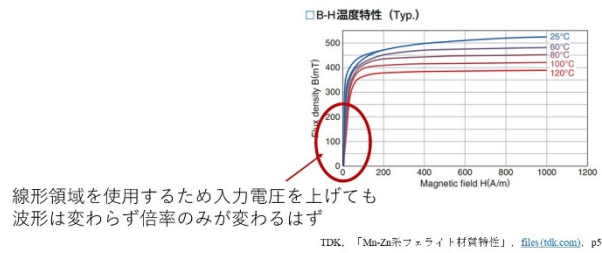


変圧器の周波数特性比較



結合係数 k が0.8~0.9の範囲に入るものは2つ

B-H特性



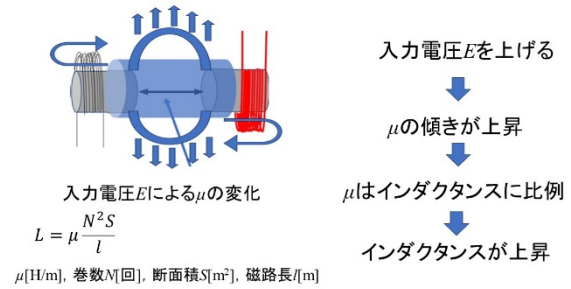
リッツ線概要

標準仕上がり外径 0.66mm
最大導体抵抗 125.9Ω/km

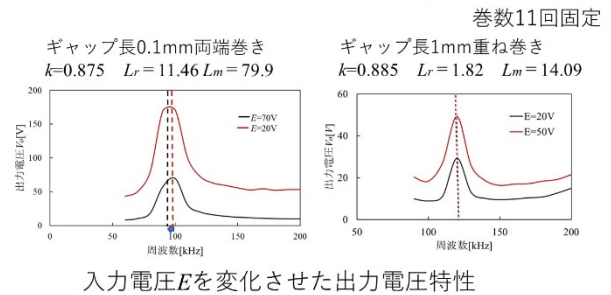
エナメル線0.45mmの直径と等価
断面積0.16mm²

30°Cの温度上昇を見込んで電流密度4A/mm²と仮定するとリッツ線1本あたりの許容電流は0.64Armsなので変圧器に流れる電流が3.53Armsならばリッツ線を5.5本以上つまり6本リッツ線を並列につなぐ必要がある

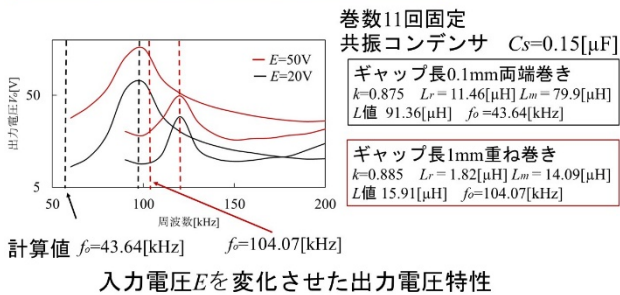
インダクタスの変化について



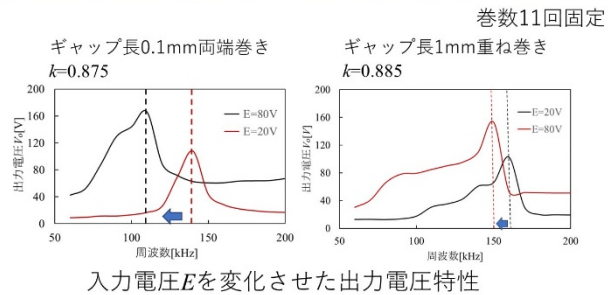
リッツ線を使用した出力電圧特性



リッツ線を使用した出力電圧特性



ポリウレタン線を使用した出力電圧特性



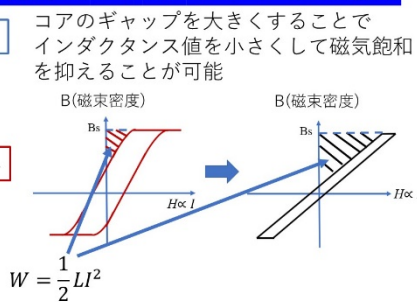
本研究における他方式DC-DCコンバータの活用

ギャップ長あり

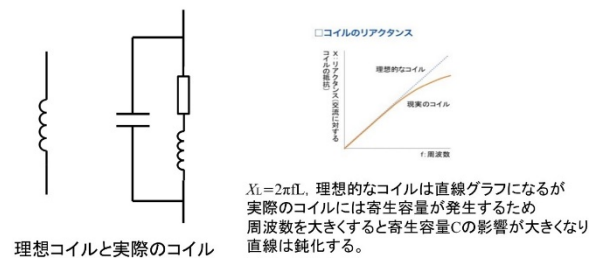
LLC
フライバック

ギャップ長なし

フォワード
位相シフト



周波数によってLが変化する理由



https://product.tdk.com/system/files/dam/doc/content/archive/ja/tdk_tj_mlg_j_0817.pdf

パラメータの設定

V_{in} は80V、 V_o は40V、 I_o は1A、スイッチング周波数は100kHz付近
VFは1.6V、 k は0.9、 $Q=3$ 、EER28のAeは82.1mm²、巻数比 $n=1$

$$R_{ac} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{40}{1} = 32.4[\Omega]$$

$$Z_o = \frac{R_{ac}}{Q} = \frac{32.4}{3} = 10.8[\Omega]$$

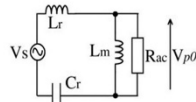
$$C_r = \frac{1}{2\pi Z_o f} = \frac{1}{2\pi \times 10.8 \times 100 \times 10^3} = 0.147[\mu s]$$

$$L_R = \frac{Z_o}{2\pi f} = \frac{10.8}{2\pi \times 100 \times 10^3} = 17.19[\mu H]$$

$$L_p = \frac{L_R}{(1-k^2)} = \frac{17.19}{(1-0.9^2)} = 90.47[\mu s]$$

$$L_r = (1-k)L_p = (1-0.9) \times 90.47 = 9.047[\mu s]$$

$$L_m = kL_p = 0.1 \times 90.47 = 9.047[\mu s]$$



スイッチOFF時の共振周波数

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_R C_r}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{17.19 \times 10^{-6} \times 0.147 \times 10^{-6}}} = 99.114[\text{kHz}]$$

スイッチON時の共振周波数

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_p C_r}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{90.47 \times 10^{-6} \times 0.147 \times 10^{-6}}} = 43.642[\text{kHz}]$$

まとめ

LLCに適する高周波変圧器として検討し結合係数が0.8~0.9であった
両端巻きのギャップ長0.1mmと重ね巻きのギャップ長1mmを用いて
実験回路を製作し、その出力電圧の比較と考察について行った

E によって L_m にかかる電圧が変化することで L が変化し出力電圧 V_o に影響があることを示した

周波数の L の変化は両端巻きの方が大きかった
入力電圧による L の変化は重ね巻きの方が大きかった

総合的に周波数によるインダクタンスの変化を含む実験値の
出力電圧比が理論値に近いものは両端巻き、ギャップ長0.1mmであった

(3) 主な使用機器

- ・固定資産登録品名：絶縁モジュール，資産番号 42300230
- ・固定資産登録品名：スコープコーダ，資産番号 42300198

6. 直流システムにおけるアーク故障の検出技術に関する研究

(1) 研究概要

近年、電気設備機器や電気関係の配線などを原因とした火災、すなわち電気火災が増加している。特に、太陽光発電システムなどの直流電路における事故が問題視されている。これは、交流では周期的に電流零点が存在するため、たとえアークが発生したとしても自然に消滅する可能性が高いが、直流では、電流零点が存在しないため自然に消滅しがたいためである。直流給電システムなどの直流利用が増加している状況において、電気を安全安心に利用するためには、アーク放電の発生を検出する技術が必要不可欠である。直流電路においてアーク放電が発生すると、電路に比較的高い周波数の電流成分が重畳することが知られている。しかしながら、回路上に接続されている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の影響により、検出が難しいという報告もある。

そこで、本研究では、直流電路において発生するアーク放電の検出を目指して、直流電路における電流信号の測定をすることによって直流電路におけるアーク放電の検出可否について検討した。まず初めに、直流電路を形成する電源の違いによって回路に重畳するノイズがどの程度変化するかについて実験的検討を実施した。その結果、スイッチング電源から発生するノイズが最も大きく、次に交流を整流平滑した電源、最も小さいのが太陽光発電パネル電源であることがわかった。また、太陽光パネル電源にパワーコンディショナを接続した場合においては、パワーコンディショナのスイッチングノイズが重畳していることが確認できた。

次に、電路上でアーク放電が発生させた場合に、どのような信号が重畳するのかについて検討を実施した。この実験においては、再現性を確保するために、電圧と電流値を常に同様の条件になるようにした。具体的には、太陽光発電装置は日射量に応じて出力が変化するのでこれに適さない。そのため、発生するノイズが比較的小さいスイッチング電源を利用して実験を実施した。その結果、直流電路において、直列故障アークが発生した場合には、アーク放電未発生時と比較して、大きなノイズが発生していることがわかった。また、アークに由来するノイズ（アークノイズ）は、その発生する周波数に特徴を持ち、特定の周波数帯域においては、他の周波数領域と比較して大きなノ

イズを有していることがわかった。また、アーク放電故障が発生する距離に応じて、特にメガヘルツ以上の高周波の領域では、ノイズの大きさが変化することが確認できた。

上記検討によって、直流回路でアーク放電が発生した場合には、電路上にノイズが重畳することを確認できた。そして、そのノイズ大きさの周波数依存性やノイズの大きさのアーク発生距離依存性について、知見を得ることができた。これらの成果によって、アークが発生した場合に、それを検知する装置の開発を実施することができた。

(2) 研究内容報告

直流システムにおけるアーク故障の検出に関する研究

津坂 亮博

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→年々増加している
 - 交流：コンセント、差し込みプラグ、コードなどから出火
 - 直流：太陽光発電における断線など
- 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、「直流システム」が注目されている
 - ・ 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電流・電圧ノイズが重畳
 - 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

アーク発生中は、アークが発生していない健全な状態のノイズと比べて、ノイズの大きさに違いがある

アーク発生時⇒ノイズ大

直流回路では・・・

直流を作る方法→太陽光発電、スイッチング電源、

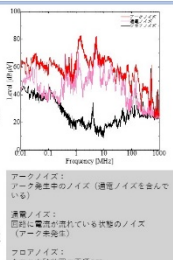
トランスによる整流など

負荷→抵抗、インバータなど

回路の条件によって、回路に重畳しているノイズ(過電ノイズ)が異なる

→様々な条件における健全な状態でのノイズを考慮していない場合、誤作動が起る危険性がある

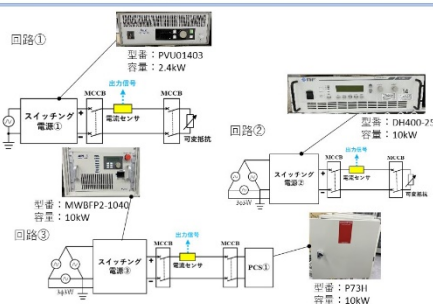
電源・負荷を変えて、様々な状態での過電ノイズを調査した。



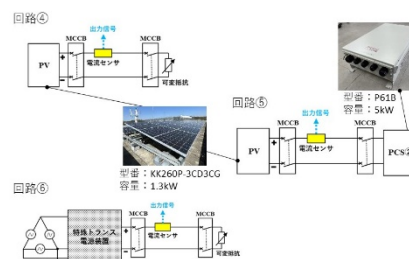
実験条件



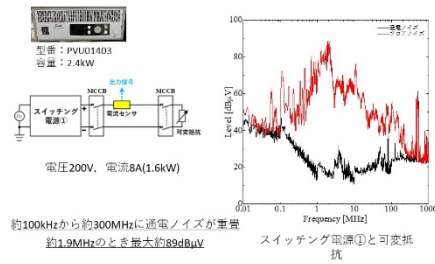
実験回路 回路①②③



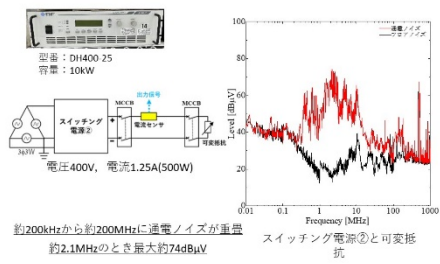
実験回路 回路④⑤⑥



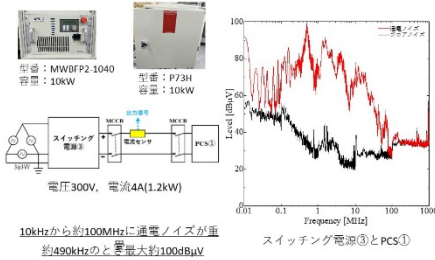
実験結果 回路①



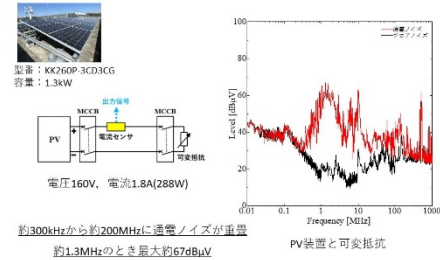
実験結果 回路②



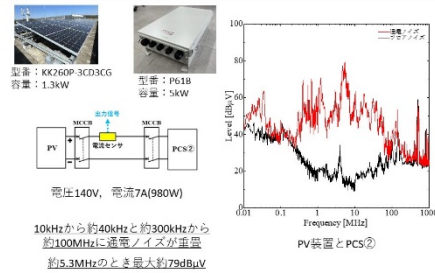
実験結果 回路③



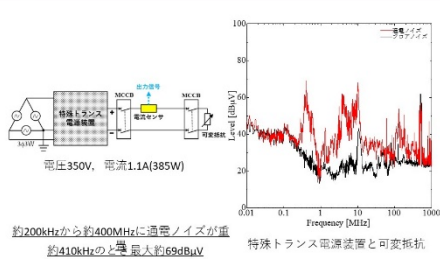
実験結果 回路④



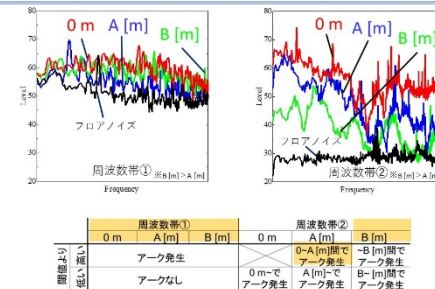
実験結果 回路⑤



実験結果 回路⑥



アーク発生時ノイズの距離依存性



(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、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

7. カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵材料の開発

(1) 研究概要

黒鉛や活性炭をはじめとする炭素材料は、電気エネルギー貯蔵デバイスであるリチウムイオン電池の負極材料や、電気二重層キャパシタの電極材料に用いられている。しかしこれらの炭素材料の合成には、高温を必要とする炭化反応や、化学薬品あるいはガスを用いた賦活処理が必要であり、膨大なエネルギーを必要とする。近年、電子デバイスの高性能化に伴い、炭素材料を他の元素や分子と複合化することで、電気エネルギー貯蔵デバイスの高エネルギー密度化や高パワー密度化、長寿命化などの高性能化における取り組みがなされている。この複合化には、膨大なエネルギーを費やして得られた炭素材料を用いて、数段階に及ぶ合成反応が必要となる。一般的には合成反応には有機溶媒を使用し、反応後には有機溶媒の除去と試料の乾燥、さらには精製操作も伴う。したがって環境負荷と二酸化炭素の排出を低減するため、石油由来製品の代わりにバイオマス材料を利用し、消費エネルギーを軽減した合成と複合化手法の発展が必要である。

本年度の研究では、賦活操作を必要とせず、バイオマス原料を用いた多孔質炭素の合成に取り組んだ。この手法では、エビや蟹などの甲殻類の主成分であるキチンを原料に使用し、キチンを窒素ガス雰囲気下で加熱するだけの操作により、多孔質炭素の合成に取り組んだ。また、様々な分析手法を用いることで、キチンから多孔質炭素が得られるメカニズムを解明した。さらに、得られた多孔質炭素が、実用的な電気二重層キャパシタの電極材料として利用できることを明らかにした。

一方で、電気二重層キャパシタの高性能化を目指し、市販の活性炭を用いた複合化手法に取り組んだ。この複合化は、我々がこれまでに取り組んできた複合化手法である、有機溶媒を一切使用しない気相吸着法を用いて行った。活性炭を用いた気相吸着法では、活性炭の飽和吸着量を超えない限り、複合化する有機化合物の全てを活性炭の細孔内部に複合化することができる。したがって有機溶媒が不要であるのみならず、用いる材料の全てを無駄なく利用でき、さらに試料の精製や乾燥操作も不要である。吸着した有機化合物がアントラセンやペリレンの場合、これらの有機化合物が吸着した活性炭を電極として使用する前に、電解液中で電圧を印加するだけで有機化合物を酸化させることができる。本来は、これらの有機化合物の酸化にはバナジウム触媒などの遷移金属触媒が必要である。しかし吸着した有機化合物は導電性の高い炭素表面と高表面積で接触しているため、触媒を用いることなく酸化反応を進行させることができる。その結果、これらの有機化合物は可逆的に酸化還元反応を行うレドックス化合物に変化し、この酸化還元反応を利用してより多くの電気エネルギーを急速に充放電できることを見出した。

(2) 研究内容報告

2024年3月26日(火曜日) 第14回テクノサロン



カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵材料の開発

愛知工業大学工学部応用化学学科
准教授 糸井 弘行

1

カーボンニュートラルに向けた取り組み

【行政】

- 政策策定: 環境に優しい設備を推進し、再生可能エネルギーの利用拡大、エネルギー効率の向上、排出権取引制度の導入などを促進
- インフラ整備: 公共交通機関の拡充や電気自動車の充電インフラの整備を推進し、低炭素社会への移行を支援
- 啓蒙活動: 市民や企業に対し、省エネやリサイクルなど、環境に配慮した生活様式を啓蒙

【大学】

- 研究開発: 細心の環境技術の開発や、気候変動に関する基礎研究を行い、その成果を社会に還元
- キャンパスのグリーン化: キャンパス内での再生可能エネルギーの利用、省エネルギー施設の建設、ゼロウェイストなど取り組み
- 教育プログラム: 学生に対し、持続可能性や環境問題に関する教育を行い、次世代のリーダーを育成

【企業】

- サステナビリティ報告: 環境報告書の作成と報告を行い、排出削減目標を公表
- グリーン製品・サービス: 環境に優しい製品やサービスの開発・提供を行い、消費者に選択機会を提供
- サプライチェーン管理: サプライチェーン全体での環境排出量の削減を目指す。持続可能な資材調達や物流プロセスの最適化に努めた取り組み

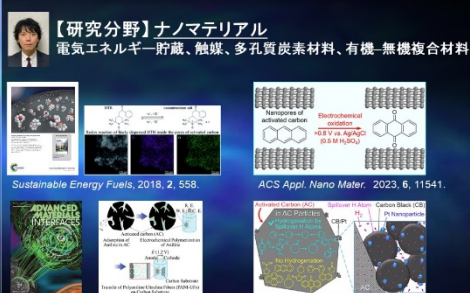
【個人】

- エネルギー効率の高い製品の使用: 省エネ家電やLED照明など、エネルギー効率の高い製品の使用
- 公共交通機関の利用: 可能な限り自家用車の使用を減らし、公共交通機関や自転車、徒歩を利用し、CO₂排出を削減
- 再生可能エネルギーへの切り替え: 家庭での太陽光発電の導入や、再生可能エネルギー由来の電力を選択する機会の拡大を促す
- リサイクルと廃棄物の削減: リサイクル可能な材料の使用に協賛し、廃棄物の削減に努める

2

これまでの主な研究内容

【研究分野】ナノマテリアル
電気エネルギー貯蔵、触媒、多孔質炭素材料、有機-無機複合材料



Sustainable Energy Fuels, 2018, 2, 558.

ACS Appl. Nano Mater. 2023, 6, 11541.

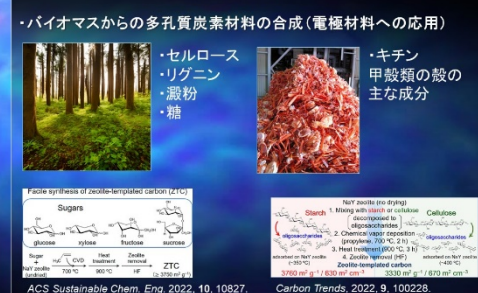
Adv. Mater. Interfaces, 2019, 6, 1801799.

J. Phys. Chem. C 2023, 127, 14723.

3

最近の研究内容

・バイオマスからの多孔質炭素材料の合成(電極材料への応用)



・セルロース
・リグニン
・澱粉
・糖

・キチン
甲殻類の殻の
主な成分

ACS Sustainable Chem. Eng. 2022, 10, 10827.

Carbon Trends, 2022, 9, 100228.

4

カーボンニュートラルに向けた取り組み

材料合成 からのづくりまで ➡ 必ずエネルギーの消費を伴う (CO₂の発生)

設置後、数年以内に製造時に使用されたエネルギーを回収し、以降は純粋なクリーンエネルギーを提供し続ける



再生可能エネルギーの利用によって、カーボンニュートラルを目指す

- 二次電池向けの電極材料の合成
- バイオマスを利用した多孔質炭素材料の合成

5

カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵材料の開発

炭素材料

多孔質炭素(細孔がある)	非多孔質炭素(細孔がない)
- 活性炭 - カーボンナノチューブ - その他 細孔に基づく大きな表面積と強い吸着力がある	- カーボンブラック - 黒鉛 - その他 黒鉛はリチウムイオン電池の負極材料として用いられる



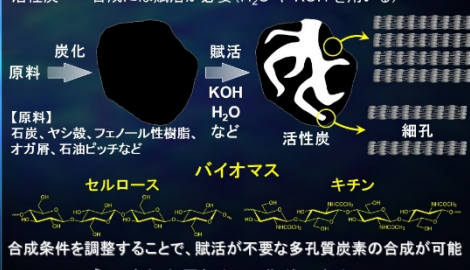
多孔質炭素

黒鉛

6

カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵材料の開発

活性炭・・・合成には賦活が必要(H₂O や KOH を用いる)



原料 ➡ 炭化 ➡ 賦活 ➡ 活性炭

【原料】石炭、ヤシ殻、フェノール性樹脂、オガ屑、石油ピッチなど

賦活: KOH, H₂O など

活性炭

細孔

バイオマス

セルロース

キチン

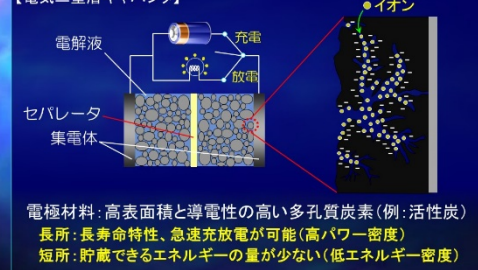
合成条件を調整することで、賦活が不要な多孔質炭素の合成が可能

➡ 安価な電極として期待できる

7

カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵材料の開発

【電気二重層キャパシタ】



電解液

セパレータ

集電体

充電

放電

イオン

電極材料: 高表面積と導電性の高い多孔質炭素(例: 活性炭)

長所: 長寿命特性、急速充放電が可能(高パワー密度)

短所: 貯蔵できるエネルギーの量が少ない(低エネルギー密度)

8

カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵材料の開発

・従来の多孔質炭素(主に活性炭)の合成
⇒炭化とは別に賦活処理が必要な、環境負荷の大きい製造法

バイオマスを用いた多孔質炭素の合成

【原料】
セルロース・・・地球上で最も豊富に存在するバイオマス
キチン・・・地球上で二番目に豊富に存在するバイオマス

【合成法】
賦活を用いずに炭化するのみ(賦活しないため、収量は2倍)

9

カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵材料の開発

バイオマスを用いた多孔質炭素の合成

【得られた多孔質炭素の特徴】
セルロース・・・主にミクロ孔と呼ばれる2 nm 以下の細孔を有する(表面積: ~900 m²/g)

⇒ミクロ孔のみでは急速充放電は不可能

ベンゼン (0.5 nm) フラーレン (1 nm) コロナウイルス (100 nm)

国立環境研究所ホームページより引用

10

カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵材料の開発

バイオマスを用いた多孔質炭素の合成

【得られた多孔質炭素の特徴】
キチン・・・ミクロ孔に加え、メソ孔と呼ばれる2 nm 以上も有するキチン由来の窒素原子を含む(表面積: ~500 m²/g)

⇒実用的な電気二重層キャパシタと同等の性能を示す

- ・ミクロ孔が容量の増大に寄与する
- ・メソ孔は急速充放電特性に都合が良い
- ・窒素原子は導電性を増加させる
- ・賦活が不要なので導電性が低下しにくい

ACS Sustainable Resource Management, 2024, Accepted.

11

カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵材料の開発

バイオマスを用いた多孔質炭素の合成

ACS Sustainable Resource Management, 2024, Accepted.

カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵材料の開発

バイオマスを用いた多孔質炭素の合成

◇賦活せずに、炭化のみで合成した場合

セルロース、リグニン	キチン
【構造の特徴】 主にミクロ孔(<2 nm)を持つ	【構造の特徴】 ミクロ孔とメソ孔(<50 nm)を持つ
【応用】 吸着材料(水素貯蔵材料)	【応用】 電気二重層キャパシタ電極
水素のような小さな分子を強く吸着する	【構造の特徴】 細孔をほとんど持たない

⇒燃料電池自動車などの水素貯蔵に応用が期待できる

12

カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵材料の開発

バイオマスを用いた多孔質炭素の合成: 今後の展望

【活性炭】
・合成には賦活が必要
・表面積が大きいほどかき高い
・電極の作製にはバインダーを用いた成型が必要

【賦活が不要な高密度多孔質炭素の合成】

バイオマス原料 高密度バイオマス 高密度多孔質炭素

電極としての応用例
・電気二重層キャパシタ、リチウム空気電池、燃料電池など

13

カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵材料の開発

・高性能化のための電極材料の合成(国内外の従来の研究)
⇒多段階で煩雑な合成操作、溶媒・分離・乾燥・精製操作が必要

・理想的な合成操作
⇒材料を混ぜるだけ
溶媒・分離・乾燥・精製操作が不要で材料の無駄が一切ない

活性炭などの多孔質炭素(大きな表面積を有する) レドックス化合物(酸化還元反応する化合物) 複合体

吸着させて複合化

14

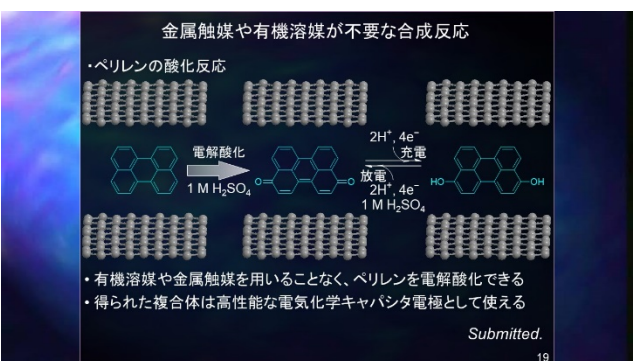
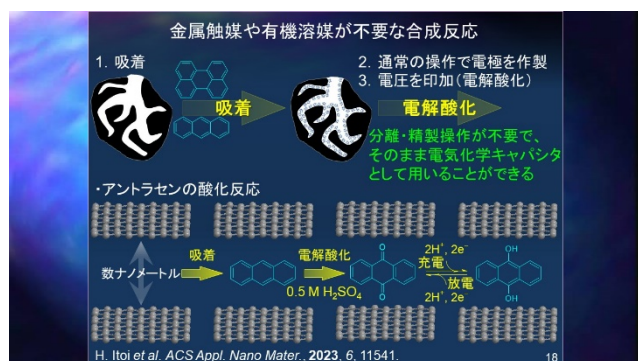
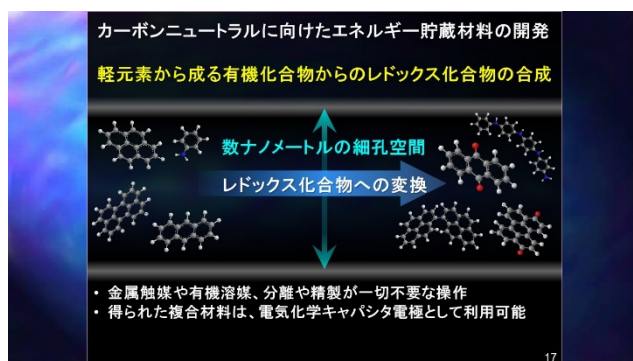
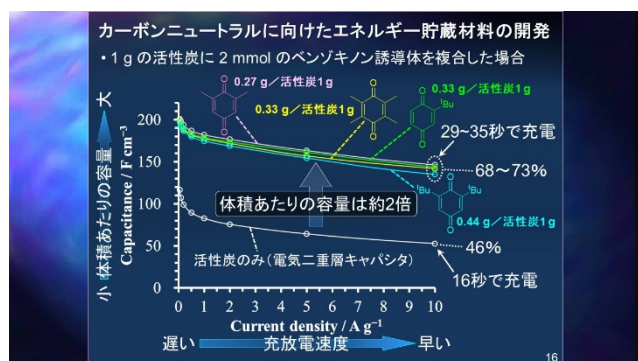
カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵材料の開発

【合成操作】

多孔質炭素 + レドックス化合物 混合のみ 複合体

- ・有機溶媒が不要なので、合成後の溶媒の除去や精製、乾燥は不要
- ・レドックス化合物は多孔質炭素に全て吸着可能(原料の無駄が無い)
- ・電気二重層キャパシタ電極よりも高性能な電極材料が得られる

15



8. 北陸地方の N 風力発電施設における雷注意報発令時の風車運用に関する研究

(1) 研究概要

日本海沿岸地域は風が強く安定して吹くため、風力発電施設の設置場所に適している。しかし、冬季雷の多発地域であり、風車への雷被害が問題となっている。落雷によるブレード損傷時、損傷が拡大しないようにすること、及び他への被害波及防止のため落雷時および落雷の危険性のあるときは風車の停止が必要である。しかしながら、悪天候時に停止し、適切な運転を行わないと発電することできない。そこで、本研究では、日本海沿岸地域にある N 風力発電施設を対象として、同風力発電施設 2022 年から 2023 年までの 2 年間の落雷観測結果を基に、ブレード破損による二次被害を防止するために風車への落雷を予測し、雷注意報発令時の車停止および運転再開の適切な運用に関する研究を実施した。

N 風力発電施設は新潟県にある風力発電施設であり、標高 6m のポケットビーチ付近に位置し、タワーの高さは 50m、レードの長さは 20.4m である。ここではビデオカメラによる光学観測とログスキーコイルを用いた雷電流観測を実施した。

雷雲内の電荷分離は今までの研究より -10℃層を中心とする高度層で活発に行われることが報告されている。また、Michimoto(1993)は -10℃高度を指標にした放電活動の基準を (1) -10℃高度が 1.4km 以下のとき自然雷は発生せず、(2) 1.4km～1.8km のとき放電活動は弱いか無発雷、(3) 1.8km 以上のとき放電活動が活発になるとの報告がある。そのため、本研究では -10℃高度に着目した。N 風力発電施設と同様に北陸の日本海沿岸にある U 風力発電所(石川県)で実施している 2004 年～2022 年の観測結果より -10℃高度と風車への落雷数の関係は、-10℃高度が 1201m から 1600m のときに

風車への落雷が多く、相関係数は-0.97 と強い負の相関が得られた。そこで、-10℃高度と Michimoto(1993)の放電活動の基準を用いて風車停止条件を-10℃高度が1.2km～1.6kmのときは完全停止、1.6km以上のときはLIDEN(気象庁の落雷位置標定システム)を用いた条件停止と定め、N風力発電施設での雷注意報発令時の風車運用について検討を行った。その結果、落雷時に風車を停止できた割合は75%であった。そして、発電量は風車を停止しない場合を100%とすると風車停止条件を用いて停止させた場合は74.4%であり、減少率は25.6%であり、発電量の減少を約1/4に抑えられる結果となった。雷注意報発令時により適切な運転・停止の運用をするために、他の気象要因などを加えての検討、停止基準の見直しを行う予定である。

(2) 研究内容報告



3.風車停止条件の検討と発電量の比較

表1 気温(TA気象台)と-10℃高度(推定値)
(2022/01/13)

時刻	気温 [℃]	-10℃高度[m] (推定値)
0:10	2	1859.2
0:20	2	1859.2
0:30	2	1859.2
0:40	1.9	1843.8
0:50	1.6	1797.6

-10℃高度を求める式

$$h_B = \frac{t_A - t_B}{0.0065} + h_A$$

t_A : 気温[℃](TA気象台)

t_B : -10[℃]

h_A : TA気象台の高度(13m)

h_B : -10℃高度[m]

(注) TA気象台は風力発電施設から約15km離れた地転にある

3.風車停止条件の検討と発電量の比較

-10℃高度を指標とした放電活動の基準
Michimoto(1993)

1.4km以下

無発雷

変更

1.2km以下

無発雷

変更理由

落雷時の-10℃高度(最小値)の観測結果において、
N風力発電施設(2022年-2023年): 1.24kmで落雷あり。
U風力発電所(2004年-2022年): 1.27kmで落雷あり。

3.風車停止条件の検討と発電量の比較

-10℃高度を指標とした放電活動の基準
Michimoto(1993)

1.4km以下

無発雷

1.4km~1.8km

弱い放電活動
または無発雷

1.8km以上

活発な
放電活動

変更

1.2km以下

無発雷

1.2km~1.6km

弱い放電活動
または無発雷

1.6km以上

活発な
放電活動

3.風車停止条件の検討と発電量の比較

-10度高度が1.2km~1.6kmのとき

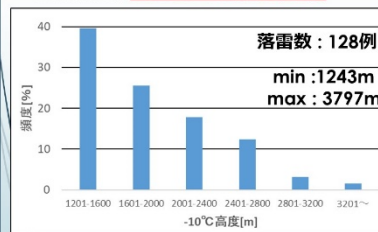


図1 -10℃高度と風車への落雷数の関係
(2004年~2022年、U風力発電での観測結果より)

相関係数: -0.97
強い負の相関

-10℃高度が低い時
風車に落雷しやすい傾向

1.2km~1.6km
停止

3.風車停止条件の検討と発電量の比較

-10℃高度が1.6km以上

放電活動が活発

LIDENで確認し判断

LIDEN

- ・気象庁の落雷位置標定システム
- ・雷により発生する電波を受信し、その位置や発生時刻などの情報を作成するシステム

3.風車停止条件の検討と発電量の比較

-10℃高度が1.6km以上

N風車から半径15km以内に放電

そこから1時間運転停止

(★: N風車の設置場所)



図2 2022年12月28日
23時までの1時間



図3 2022年12月28日
24時までの1時間

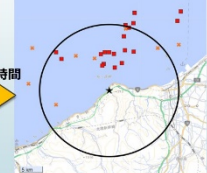


図4 2022年12月29日
01時までの1時間

3.風車停止条件の検討と発電量の比較

風車停止条件

雷注意報発令時に

- ① -10℃高度が1.2km~1.6kmのとき
- ② -10℃高度が1.6km以上でN風車から半径15km以内に放電があるとき

3.風車停止条件の検討と発電量の比較

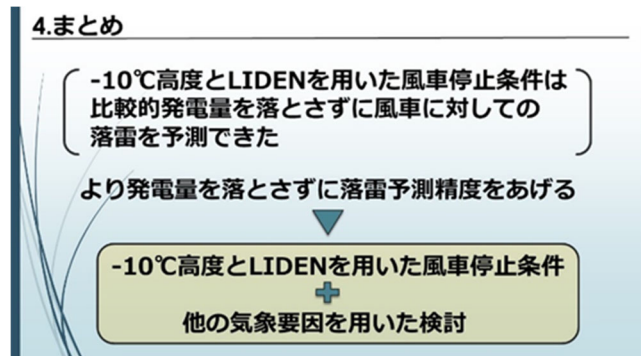
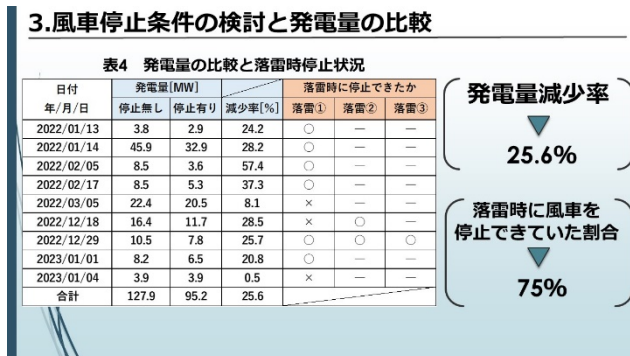
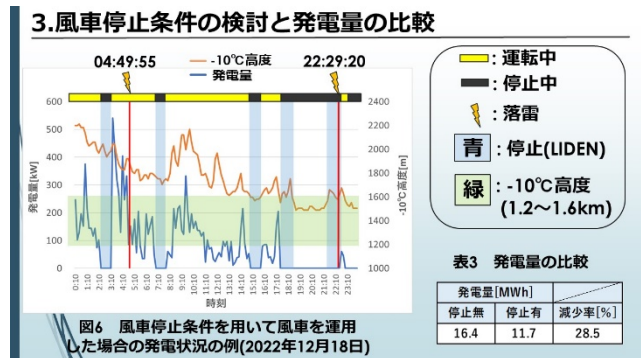
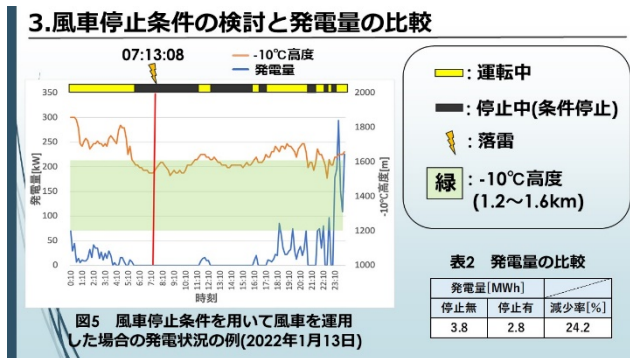
発電量の推定方法

風力エネルギー

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3$$

パワー係数: $C_p=0.4$
(プロペラ型大型風車であるため0.4と仮定)
空気密度: $\rho=1.2[\text{kg}/\text{m}^3]$
翼の受風面積 $A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} 45^2 = 1590[\text{m}^2]$
風速: $V[\text{m}/\text{s}]$

高田気象台(高度18m)のデータを
N風車のハブ高さ(50m)に変換



(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

9. 北陸地方のJ風力発電施設における落雷電流観測に関する研究

(1) 研究概要

今日地球環境問題より風力発電が注目され、導入量は年々増加している。我が国では、風況の良い日本海沿岸に多く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、落雷による風車の被害が多く発生している。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J風力発電施設で2011年～2020年の10年間に観測した落雷電流について検討した。

このJ風力発電施設は海岸に近い標高90mの丘陵地に設置されている。J風力発電施設において、2011年～2020年までの10年間に合計69例の落雷電流を観測記録した。そのうち67例は、12月から3月までの4ヶ月に記録できた。その他の2例の落雷電流は、11月と5月にそれぞれ1例ずつ記録している。

観測した落雷電流波形の最大電流値の累積頻度50%値は4.54kAとなった。また、観測期間中に記録した最大の電流値は50.76kAであった。

電気量の累積頻度50%値は43.56Cであった。最大の電気量は353.21Cであった。

J風力発電施設での落雷電流観測より、電流値はそれほど大きくないが電気量が大きい落雷が多い状況が確認できた。これは、冬季雷の特徴である継続時間の長い雷が多く、このことが関係していると考えられる。電流値の観測結果より、累積頻度50%の4.54kA以上の電流値の落雷数を月別に調査した。その結果、12月が一番多く、その後徐々に減少している傾向が判明した。また、大きな電

流値の落雷観測数も12月が一番多く、その後は減少していた。そして、いずれの月においても大きな電流値の落雷は月別落雷観測数の50%程度であった。次に、電気量の累積頻度50%の43.56C以上の落雷観測数を月別に調査した。その結果、月別の全落雷観測数と異なり大きな電気量の落雷観測数は1月が一番多く、12月は3番目に多いという結果になった。

(2) 研究内容報告



北陸地方のJ力発電施設における 落雷電流観測に関する研究

目次

1. はじめに
2. 雷電流の観測体制
3. 10年間の雷電流の観測結果
4. まとめ

1. はじめに

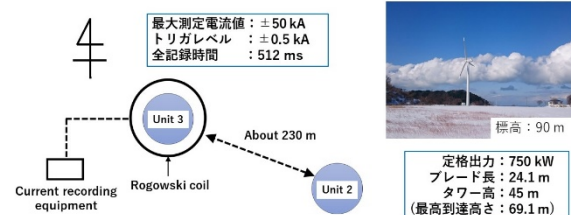
我が国では風力発電施設は風況の良い日本海沿岸に多く建設されている。しかし、この地域は冬季雷の多発地域であり、風力発電施設での雷被害対策が必要である。

雷被害対策の強化を目的として、以前より雷観測を継続している。

J風力発電施設における2011年から2020年までの
10年間の落雷時の電流観測結果を示す。

2. 雷電流の観測体制

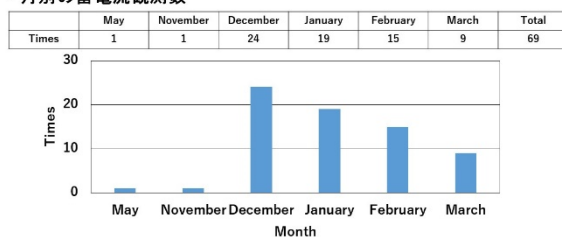
・J風力発電施設



3. 10年間の雷電流の観測結果

・2011年から2020年までの雷電流観測数：69個

・月別の雷電流観測数

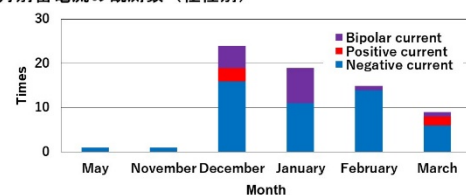


3. 10年間の雷電流の観測結果

・極性別の観測数

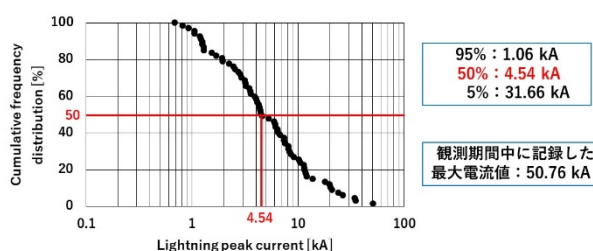
Positive current	Negative current	Bipolar current
5 (7%)	49 (71%)	15 (21%)

・月別雷電流の観測数（極性別）



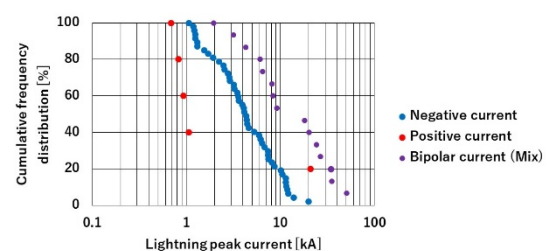
3. 10年間の雷電流の観測結果

・最大電流値の累積頻度



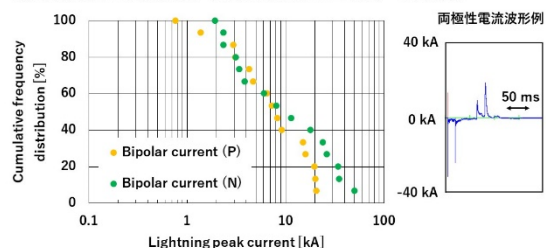
3. 10年間の雷電流の観測結果

・最大電流値の累積頻度（極性別）



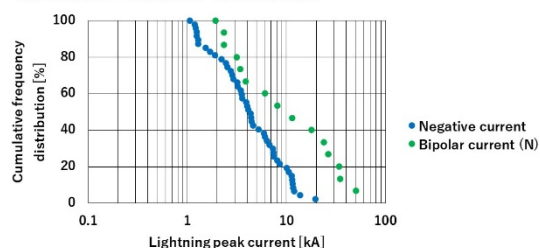
3. 10年間の雷電流の観測結果

- ・最大電流値の累積頻度（両極性落雷の正電流・負電流）



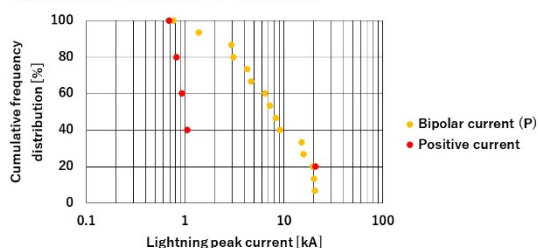
3. 10年間の雷電流の観測結果

- ・最大電流値の累積頻度（負極性電流）



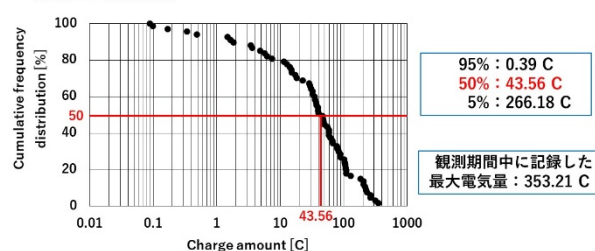
3. 10年間の雷電流の観測結果

- ・最大電流値の累積頻度（正極性電流）



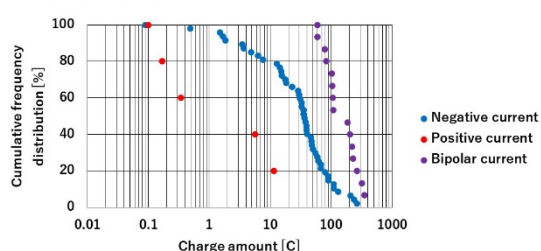
3. 10年間の雷電流の観測結果

- ・電気量の累積頻度



3. 10年間の雷電流の観測結果

- ・電気量の累積頻度（極性別）



4. まとめ

- ・J風力発電施設において2011年から2020年までに69回の落雷時の雷電流を観測できた。
- ・観測できた雷電流のほとんどは12月から3月の期間に得られ、12月が一番多かった。
- ・極性別で見ると正極性雷は全体の7%、負極性雷は全体の71%、両極性雷は全体の21%となった。
- ・両極性の落雷は最大電流値、電気量で大きい傾向のある事がわかった。

(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 42300459

10. 都市緑地における温熱環境と利用者の季節的行動特性に関する研究 2 ～愛知県名古屋市中区都心部ヒサヤオドリパークを対象として～

(1) 研究概要

近年、都市緑地公園は多様な機能が期待されている。例えば、災害時の避難場所として都市の安全性を向上させる防災性向上機能、子育て世帯から高齢者にわたる健康増進・レクリエーション機能、環境教育機能、コミュニティ形成機能、生物多様性の回復機能などがある。この機能を十分発揮させるためには、都市を生活空間とする利用者の要望を捉え、管理者による適切な維持管理、運営が必要である。

本研究では、今後、マンション建設とともに人口増加が予想される名古屋市中区都心部の都市居住環境の充実に向けて、中区及び東区にまたがる緑地空間であるヒサヤオドリパークの利用に関す

る情報提供を行うことを目的として、維持管理・運営を担うヒサヤオドリパークデザインセンターによる調査協力の元、ヒサヤオドリパーク利用者の利用行動を観察調査し、利用実態を明らかにする。

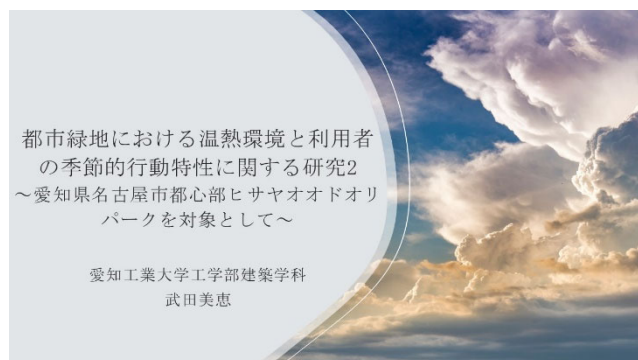
ヒサヤオドリパークは久屋大通駅・栄の2本の地下鉄駅が通るセントラルパーク地上にある全長1.8km、ZONE1～4からなる商業施設一体型の公園である。本調査ではヒサヤオドリパーク内でも緑地を有するZONE1、ZONE3を調査対象地とした。

ZONE1はパーク内最大の芝生面積を持ち、ZONE3はテレビ塔北側に位置し、駅直結の地下街からの出入り口があるため、ZONEによって利用方法に違いがあることが予想された。

ヒサヤオドリパーク利用者行動観察調査実施結果として、次の3点を明らかにすることができた。

- ・運動や散歩はZONE3に比べて、マンションの多いエリアに近いZONE1a,1bに多い。
- ・イベントを開催すると賑わうもののテントや来場者でスペースが限られ、1bでは散歩や遊び、休憩利用に影響が出ていた。
- ・レジャーシートを持ち込み、芝生でくつろぐ家族や単独の人々の休憩、運動、遊び利用が多いことから、日陰を増やすために木陰をつくるなど、今以上に必要性はないと考える。

(2) 研究内容報告



◆1章 研究背景と目的

多様な機能

- ・避難場所等の災害対策
- ・都市の安全性
- ・熱環境緩和
- ・防災性向上効果
- ・健康・レクリエーション空間提供
- ・子育て
- ・環境教育
- ・地域コミュニティの活動拠点

写真1 名古屋市中区栄
ヒサヤオドリパークZONE3

都心部の緑地空間における
利用者の行動実態を
観察調査

◆2章 研究方法—調査地概要—

ヒサヤオドリパーク 調査対象ZONE

・パーク内最大の芝生面積 (4000㎡)

・くつろぎや憩いの空間となる学びの森ゾーン

ZONE1

・テレビ塔北側

・駅直結の地下街からの出入り口がある

・日常的に利用可能な芝生のコミュニケーションゾーン

ZONE3

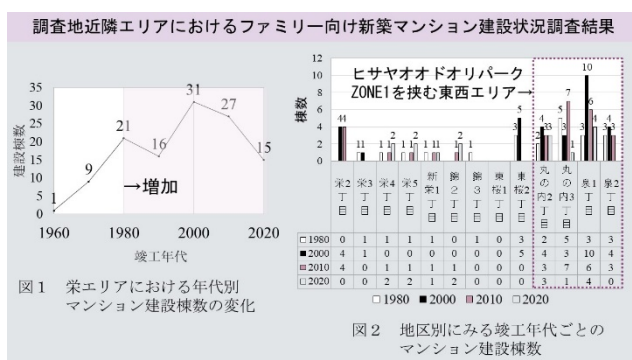


表1 調査方法

日付/曜日	2022/6/1(水)～6/8(水)
時間	①11:00-12:00②12:00-13:00③13:00-14:00④15:00-16:00⑤17:00-18:00
天候	晴れ・曇り・雨、日向と日陰の気温・湿度測定(AND社AD-5688)
グループの形態	単身・ファミリー・カップル・友人
世代	未就学児・小学生・中学生・大人・高齢者
人数	大人何人・子供何人
利用行動	通り抜け・散歩・犬の散歩・運動・遊び・休憩・会話・鑑賞(読書など)・撮影・電子機器操作
利用場所	木陰・芝生・通路・ベンチ
着座方式	座位・臥位・歩行・起立
着座器具	直接・ベンチ・可動式椅子(折りたたみ式)・敷物類・テント

日付/曜日	2023/5/1(月)、5/2(火)、5/27(土)、5/28(日)
観察時間	7:00～17:00
天候	晴れ・曇り、日向と日陰の気温・湿度測定(AND社AD-5688)
利用行動	通り抜け・散歩・犬の散歩・運動・遊び・レクリエーション・飲食・休憩・会話・鑑賞(読書など)・撮影・電子機器操作・イベント利用
利用行動2	利用行動に変化がある場合
備考	イベント内容

◆ 3章 結果と考察 2022年度6月調査 一利用場所別利用行動一

表2 利用場所別利用行動ZONE 1 a

	飲食	休憩	遊び
芝生	24	41	65
芝生側のベンチ	3	16	1
木陰	11	8	0
通路側の木陰・ベンチ	1	0	2

表3 利用場所別利用行動ZONE 1 b

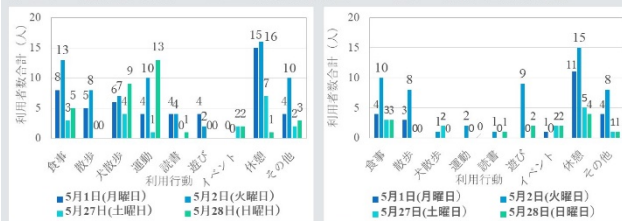
	飲食	休憩	遊び
芝生	9	22	104
芝生側のベンチ	18	37	4
木陰	2	8	2
通路側の木陰・ベンチ	21	4	4

表4 利用場所別利用行動ZONE 3

	飲食	休憩	遊び
芝生	32	34	26
ベンチ	6	27	0
木陰	0	17	2
通路	4	26	1

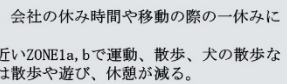
- ・ ZONE1a,bはZONE3と異なり、休憩利用も多いが、芝生を利用した遊びが多い。
- ・ ZONE3は休憩に利用する人が最も多い。
- ・ 飲食、休憩、遊びに共通して、広々とした芝生を利用している人が最も多い。
- ・ 1a、1b、3に共通して、休憩は芝生に面するベンチを選び、利用する人が多い。

◆ 3章 結果と考察 2023年度5月調査 一平日・休日の利用行動一



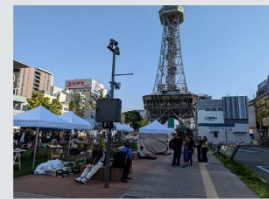
- 図3 平日・休日の利用行動 (ZONE1b)
- ・ 平日は休日と比べて、休憩利用が多く、会社の休み時間や移動の際の一休みに利用する人が主である。
 - ・ マンションに住む人々の生活エリアに近いZONE1a, bで運動、散歩、犬の散歩などが多い。しかし、イベント開催日には散歩や遊び、休憩が減る。

図4 平日・休日の利用行動 (ZONE3)



◆ 4章 結論とまとめ

- ・ 運動や散歩はZONE3に比べて、マンションの多いエリアに近いZONE1a, 1bに多い。
- ・ イベントを開催すると賑わうもののテントや来場者でスペースが限られ、1bでは散歩や遊び、休憩利用に影響が出ていた。
- ・ レジャーシートを持ち込み、芝生でくつろぐ家族や単独の人々の休憩、運動、遊び利用が多いことから、日陰を増やすために木陰をつくるなど、今以上に必要性はないと考える。

写真2
ZONE1 芝生利用 テント持参写真3
ZONE3 イベント開催時

11. 電力系統における制動インピーダンスの一機無限大母線系統モデルでの検討

(1) 研究概要

近年、地球温暖化をはじめとする環境問題に対する取り組みにおいて、再生可能エネルギーは改めて重要視されており、自然エネルギー起源の分散型電源が増加している。しかし、分散型電源が広域かつ大量に連系された電力系統において、系統の外乱により分散型電源が一斉に解列した場合、電圧変動、周波数変動が発生し、配電線に接続されている他需要家への電力品質の低下を引き起こすおそれがある。電力系統においては、系統の安定性および電力品質の維持がより強く求められている。特にインバータを用いている機器が増加する状況の中で、系統の安定性については重要視されつつある。

本研究では、電力系統における過渡安定度を向上させるため、発電所に併設された制動抵抗に着目して、系統故障時における発電機動揺に用いることを提案し、シミュレーションにて制動抵抗の効果について確認した。

その結果、制動抵抗を投入することにより故障発生から系統が安定するまでの収束が早いことが確認できた。さらに、リアクトルを制動抵抗に直列接続することで過渡安定度はより向上する事が確認できた。これは、リアクトルを接続することにより端子電圧の低下が抑制され、制動抵抗にかかる電圧が維持し消費電力が増加したからと考える。

(2) 研究内容報告

1. 研究背景
2. 研究目的
3. 制動抵抗による発電機動揺
4. 制動抵抗リアクトル併用時の発電機動揺
5. まとめと今後の予定

山下 晟生, 津坂 亮博, 雪田 和人, 七原 俊也, 後藤 泰之 (愛知工業大学)

・使用機器定格
 定格容量：1,100[MVA]、周波数：60[Hz]
 定格出力：1,000[MW]、定格電圧：100[kV]

項目	数値	単位	
発電機 G1	x_d	1.70	(Ω)
	x_d'	1.70	(Ω)
	x_2	0.25	(Ω)
	x_2'	0.25	(Ω)
	x_2''	0.25	(Ω)
	T_d	1.00	(sec)
	T_2'	0.03	(sec)
	T_2''	0.03	(sec)
	T_2'''	0.40	(sec)
	T_2''''	0.225	(sec)
発電機 G1	T_2'	2.0	(sec)
	慣性定数	9999.0	(kgm^2)

図 1 機無限大母線モデル

図 2 事故シーケンス

◆ 制動抵抗を送電端に設置した場合による電動機の動揺

◆ 制動抵抗と他の機器を併用した際の系統安定度

図 AVR,PSS制御ブロック

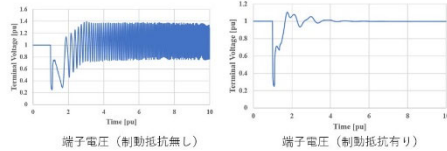
図 GOV 制御ブロック

入力値	
EA	端子電圧
EF	界磁電圧
EFS	端子電圧設定値
EFS	界磁電圧設定値
Pg	発電機出力
Sg	発電機出力変動偏差
65M	負荷設定
77M	負荷別定数

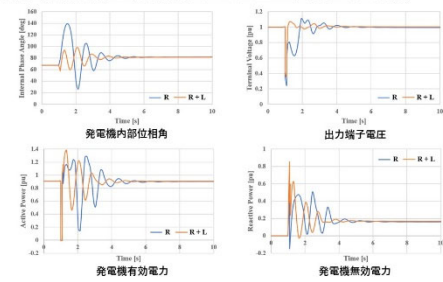
● 制動抵抗の有無による発電機動揺の比較

制動抵抗無しの場合：故障線開放時間1.0984[s]で脱調
 制動抵抗有りの場合：端子電圧は収束に向かい安定となった
 ⇒制動抵抗で消費される電力が過大となり、発電機の回転速度が極端に減速する

対象の系統に適切な投入時間、抵抗値の制動抵抗を接続することにより発電機の過渡安定度を保つことができる



● 制動抵抗単体と制動抵抗+リアクトル（直列）時の比較



検討概要

- ◆ 制動抵抗を送電端に設置した場合による電機の動揺
- ◆ 制動抵抗と他の機器を併用した際の系統安定度

検討結果

- ✓ 電力系統に対し、適切な抵抗値・投入時間の制動抵抗を接続することにより系統が安定化する
- ✓ 制動抵抗とリアクトルを直列に接続することにより、過渡安定度は向上することが確認できた

今後の予定

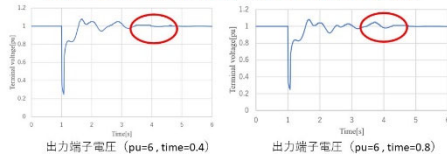
- 制動抵抗と他の素子を接続した時、また他のFACTS機器と併用した時の系統安定度に関して検討を進めていく予定である。

補足資料

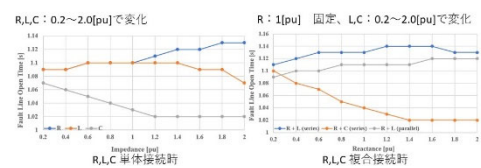
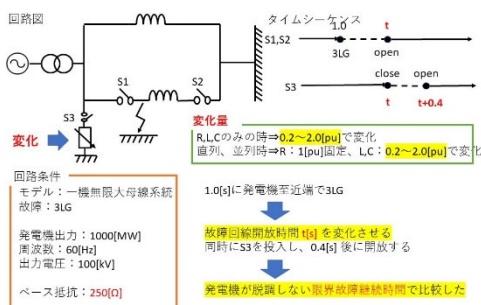
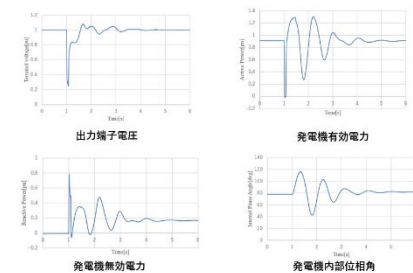
● 制動抵抗の投入時間を変化させたときの比較

投入時間0.4[s]の時に比べ、投入時間0.8[s]では性能が低下した
 ⇒制動抵抗で消費される電力が過大となり、
 発電機の回転速度が極端に減速する

対象の系統に適切な投入時間、抵抗値を与えることが必要



● 制動抵抗投入時の発電機動揺 (pu=6, t=0.4)



結果
 R単体時の1[pu]を基準とすると、R+L（直列）とR+C（並列）で故障継続時間がのびた
 R+L（直列）とR+C（並列）の時、安定度向上したと考える

(3) 主な使用機器

- ・ 固定資産登録品名：デスクトップパソコン、資産番号：41901281

12. ナッジによる省エネ行動誘発効果に関する一検討

(1) 研究概要

近年、エネルギー事情は日々変化している。特にゼロカーボン社会の実現に向けて、国内外で再生可能エネルギーが注目され日々研究開発が進められている。しかし、再生可能エネルギーを用いた分散型電源の発電量は天候などに左右されやすく不安定であり、集中型電源による需給調整や火力発電所の調整などに加えて、需要家側における電力需要の調整が必要とされている。需要家側の電力に関しては、Energy Management System(EMS)を用いたシステム開発なども重要視されている。

そこで、電力需要の制御のためにピークカットやピークシフト、ボトムアップなどの取り組みが期待されている。ピークカットとは、最も使用電力の多いピーク時の電力利用を調整することで使用電力を削減すること、ピークシフトとは、電力使用量が多い昼間の電力使用量を夜間など電力使用量の少ない時間帯に移動させること、ボトムアップとは、電力需要の少ない深夜に電力を有効利用することである。

本研究では、このなかでもピークカットを取り上げ、その手段として電力の無駄を省き制御を行う、デマンドレスポンスに着眼点をおいた。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正確に把握する必要がある。近年、ピークカットやデマンドレスポンスに関する研究には多くの報告がなされている。しかし、実際にエネルギー消費するのは種々のエネルギー消費機器であり、それを操作するのは人であるのに対して、機器のエネルギー消費やその操作レベルにまで分解して需要を論ずる研究はこれまでに報告が少ない。

そこで、本研究では近年、行動変容方策として注目されるナッジに着目し、行動経済学に基づいた需要家の消費エネルギー削減のための有用なナッジを見つけ、省エネルギー行動の誘発を行うことを目的としている。

本研究では、家庭や事務所などにおいてエネルギー消費が大きいと思われる空調機器を対象として、ナッジによる行動誘発効果について基礎的検討を行った。筆者らはこれまでも空調機器を対象として研究を行っている。

(2) 研究内容報告

ナッジによる省エネ行動誘発効果 に関する一検討

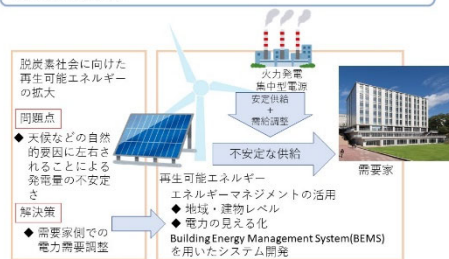
A study on the effects of nudges to induce
energy-saving behavior

○西谷強, 田中蒼, 雪田和人,
後藤時政, 水野勝教, 後藤泰之
(愛知工業大学)

目次

1. はじめに
2. 行動経済学におけるナッジの活用
3. デフォルトナッジの効果に関する検討
 - 3.1. 検討対象について
 - 3.2. ナッジの概要及び検討方法
4. 検討結果及び考察
 - 4.1. 2階における設定温度変化
 - 4.2. 3階における設定温度変化
 - 4.3. 4階における設定温度変化
 - 4.4. 初期設定温度からの設定回数
5. まとめ

近年、ゼロカーボン社会の実現のために、再生可能エネルギーが国内外で注目されている。



実際にエネルギー消費するのは、

種々のエネルギー消費機器、機器を操作するのは人である

□ 人のエネルギー消費行動が考慮されていない

□ 機器のエネルギー消費やその操作のレベルにまで分解して需要を検討する研究は多くはなく、限られている

→ エネルギー消費について、人の意思を考慮した検討の必要が本研究の目的

✓ 人間の行動を考慮したエネルギー管理システムの構築のための基礎検討として電力需要に注目し、特に空調機器を対象に検討を実施している。

✓ 行動経済学に基づいた消費エネルギー削減のための有用なナッジを見つける。省エネルギー行動の誘発を行う。

特に家庭や事務所などにおいてエネルギー消費が大きいと思われる空調機器を対象として、行動経済学的手法の「ナッジ」による行動誘発効果に関して基礎的検討を行った。

3.1. 検討対象について

◆ 検討対象：本学の講義棟講義室

◆ 建物：7階建て、延床面積：9,052.53m²

◆ 空調機器の種類：ガスヒートポンプエアコン (GHP)

◆ 対象の講義室：2階：2室、3階：3室、4階：3室



3.2. 検討方法概要

空調機器の設定温度に対するデフォルトナッジの効果に関する検討を講義開始前に空調機器の設定温度を予め設定し、講義終了後ごとに設定温度の変更状況、室内温度などを確認した。

予め設定する設定温度がデフォルト効果を利用したナッジとなった。

◆ 期間：2022年12月5日～2022年12月9日の間 (平均気温：7.3℃)

◆ 検討対象：本学の講義棟講義室

◆ 建物：7階建て、延床面積：9,052.53m²

◆ 空調機器の設定温度を、各階層ごとに設定

2階 (A, B室)：22℃、3階 (C, D, E室)：23℃、

4階 (F, G, H室)：24℃ 全て暖房設定

講義終了後ごとに空調の設定温度、室温などを確認した。

◆ デフォルト設定温度への変更タイミングは講義開始前のみ

それ以降の変更ならびに設定温度以外の変更・操作は行っていない。

近年エネルギーの安定供給、ゼロカーボン社会実現のために、省エネルギー技術としてエネルギー管理システム (EMS) が研究されている。

従来のエネルギー管理システムの未検討事項

□ 人間のエネルギー消費行動が考慮されていない

□ 機器のエネルギー消費やその操作のレベルにまで分解して需要を検討する

研究は多くはなく、限られている。本研究は、人間の行動を考慮したエネルギー管理システムの構築のための基礎検討として電力需要に注目し、特に空調機器を対象に検討を実施している。

本研究の目的

✓ 人間の行動を考慮したエネルギー管理システムの構築のための基礎検討として電力需要に注目し、特に空調機器を対象に検討を実施している。



ナッジによる省エネルギー方策の事例

◆ Opower社が省エネルギー行動を促す、Home Energy Report (HER) の送付による省エネルギー・節電促進の実証実験を実施



3.2. 検討方法概要

空調機器の設定温度に対するデフォルトナッジの効果に関する検討を行った。デフォルト効果を利用したナッジにより講義室の利用者が予め設定された温度に誘導され、デフォルト設定が維持されるのではないかと想定した。

ナッジの概念

□ 行動経済学におけるナッジの一つであるデフォルト効果を利用

デフォルト (初期設定) 効果とは

□ 選択してほしい選択肢を予め提示することによって、人はその選択肢に影響され、その選択肢を受け入れるという心理傾向

空調機器の設定温度に対してデフォルト効果を当てはめ、デフォルト効果を利用したナッジによる行動誘発効果に関して検討を行った。

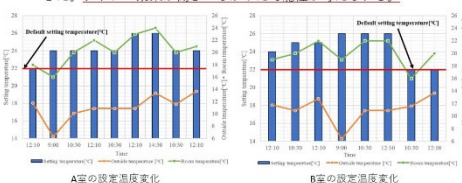
4.1. 2階の設定温度変化

◆ 初期設定温度：暖房22℃

✓ A室：初期設定温度での設定：1回、設定温度の平均値：24.5℃

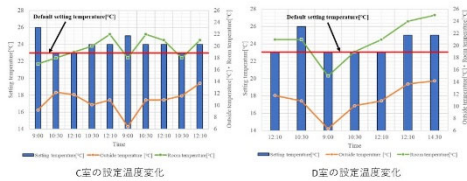
✓ B室：初期設定温度での設定：2回、設定温度の平均値：24.2℃

✓ A室、B室ともに初期設定温度が維持される傾向が弱いことが確認できた。ナッジの効果が働かなかった可能性が考えられる。



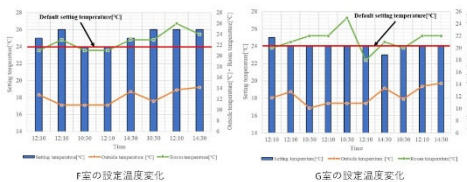
4.2.3階の設定温度変化

- ◆ 初期設定温度：暖房23℃
- ✓ C室：初期設定温度での設定：3回、設定温度の平均値：24.0℃
- ✓ D室：初期設定温度での設定：4回、設定温度の平均値：24.4℃
- ✓ 設定温度は、24℃から26℃設定が多数であることが確認できる。



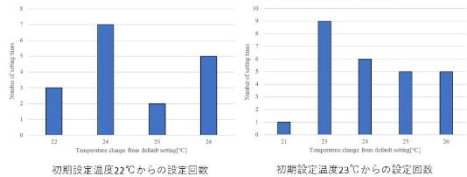
4.3.4階の設定温度変化

- ◆ 初期設定温度：暖房24℃
- ✓ F室：初期設定温度での設定：2回、設定温度の平均値：25.2℃
- ✓ G室：初期設定温度での設定：7回、設定温度の平均値：24.0℃
- ✓ 初期設定温度が概ね維持される傾向があるように見受けられる。



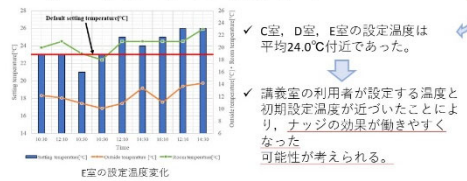
4.4. 初期設定温度からの設定回数

- 各階層の初期設定温度別に設定温度の集計を行った。2階（A、B室）：22℃
- ✓ 初期設定温度22℃の設定回数：3回
- ✓ 初期設定温度23℃の設定回数：9回
- ✓ 初期設定温度であった件数をナッジの有効度とする
- 22℃における有効度：17.6%、23℃における有効度：34.6%



4.2.3階の設定温度変化

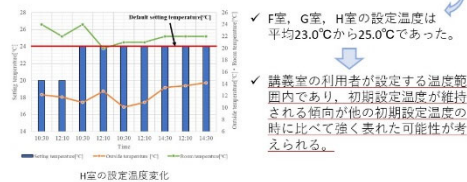
- ◆ 初期設定温度：暖房23℃
- ✓ E室：初期設定温度での設定：3回、設定温度の平均値：24.0℃
- ✓ 設定温度は、24℃から26℃設定が多数であることが確認できる。
- ✓ C室、D室、E室では、初期設定温度が維持される傾向が初期設定温度22℃の時に比べて強いように見受けられた。



- ✓ C室、D室、E室の設定温度は平均24.0℃付近であった。
- ✓ 講義室の利用者が設定する温度と初期設定温度が近づいたことにより、ナッジの効果が働きやすくなった可能性が考えられる。

4.3.4階の設定温度変化

- ◆ 初期設定温度：暖房24℃
- ✓ H室：初期設定温度での設定：7回、設定温度の平均値：23.2℃
- ✓ F室、G室、H室では、初期設定温度が維持される傾向が他の初期設定温度の時に比べて強いように見受けられた。



- ✓ F室、G室、H室の設定温度は平均23.0℃から25.0℃であった。
- ✓ 講義室の利用者が設定する温度範囲内であり、初期設定温度が維持される傾向が他の初期設定温度の時に比べて強く表れた可能性が考えられる。

4.4. 初期設定温度からの設定回数

- 各階層の初期設定温度別に設定温度の集計を行った。2階（A、B室）：22℃
- ✓ 初期設定温度24℃の設定回数：17回
- ✓ 24℃における有効度：70.8%
- ✓ 有効度は、初期設定温度が高いほど高く23℃に比べて優位効果が確認できた。
- 23℃における有効度：17.6%
- 4階（F、G、H室）：24℃
- ✓ 24℃における有効度：34.6%



- ✓ 検討期間終了後の設定温度平均：25.0℃
- ✓ 検討開始時の設定温度平均：24.0℃
- 初期設定温度が設定温度の平均値に近づくほどナッジによる誘導（誘発）効果は強くなり、離れるほど誘導（誘発）効果は弱くなると考えられる。

検討概要

- ◆ エネルギー消費が大きいと予想される空調機器を対象に、デフォルト効果を利用したナッジによる行動誘発効果に関して検討を行った。
- ◆ デフォルト効果とは選択してほしい選択肢を予め提示することによって、人はその選択肢に影響され、その選択肢を受け入れるという心理傾向

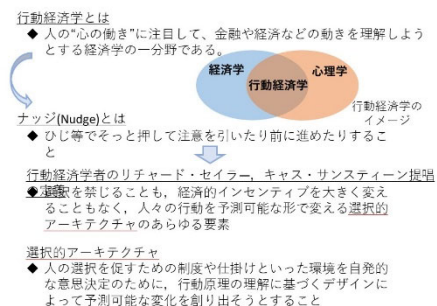
検討結果

- ✓ 初期設定温度の違いにより、初期設定温度が維持されるかどうかの傾向に違いが生じることが確認できた。
- ✓ 利用者が設定する温度と初期設定温度の差が小さいほどナッジによる誘導効果が強くなり、大きいほど誘導効果が弱くなる可能性がある。

今後の予定

- 冷房設定時における検討やナッジによって、どの程度省エネ効果が見込めるのかについて検討を実施していく予定である。

補足資料



部屋の構成



(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，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：4500444

13. 小形風力発電のみでの小規模マイクログリッドにおける運用可能性に関する検討

(1) 研究概要

近年、脱炭素化に向けた取り組みが加速してきている。それに伴い、再生可能エネルギーの普及が進められているが、発電された電力の効率的な利用が必要不可欠となっている。そこで、マイクログリッドやスマートグリッドを導入することにより、再生可能エネルギーの効率的な利活用が期待できる。

本検討では、マイクログリッドにおける電力供給に関して小形風力発電機を主軸とした際における検討を行った。小規模マイクログリッドのモデルとしては、南極に設置された昭和基地を想定し試算を行った。特に昭和基地に注目した理由としては、イギリスの南極観測基地でありハリー基地は、小形風力発電機のみで電力供給を実施しているため、比較的近くに設置されている昭和基地においても、再生可能エネルギーだけで電力供給を実施できる可能性について検討するためである。対象とした昭和基地では、現在、電力の地産地消を実施しており、主な発電方法はディーゼルエンジン発電、太陽光発電、風力発電の三種類の電源にて実施している。本検討では、再生可能エネルギー発電として、昭和基地では比較的風況がよいため、極夜の期間においても発電ができることから風力発電機を主軸として試算を行った。さらに、平均風速が高いためカットアウトのない仕様及び設置環境における設備の維持管理の観点から小形風力発電機として、SD グリーンエナジー社の6kW 級発電装置を用いている。昭和基地における実測の電力量データ期間は、2016 年2 月から2017 年1 月のものを用いて試算を行った。

本検討では、昭和基地における電力供給を風力発電機のみにより給電を行った際の検討を行った。この結果、風力発電機のみによる給電では83 基設置する必要があることがわかり、非常に広大な設置面積が必要となる。このため、蓄電装置の導入し、風力発電と協調して運用していくことが必要不可欠であることが分かった。

(2) 研究内容報告



小形風力発電のみでの小規模マイクログリッドにおける運用可能性に関する検討

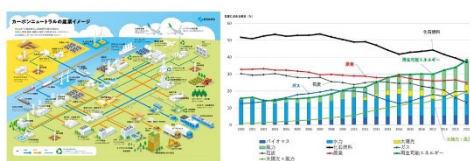
A1-5
愛知工業大学 田中 蒼

目次

- ◆ 研究背景
- ◆ 風力発電
- ◆ 目的
- ◆ 試験方法
- ◆ 試算結果
 - 設置基数
 - 設置面積
- ◆ まとめ



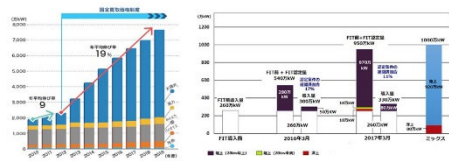
■ カーボンニュートラルの実現



A1-5 愛知工業大学 田中 蒼



■ エネルギーミックスに向けた風力発電



A1-5 愛知工業大学 田中 蒼



■ 風力発電

風力発電はエネルギーミックスの観点から、今後も需要が増加していく。大型風力発電の場合においては沿岸部や洋上に設置することが多くなっている。小形風力発電はオフグリッドや小規模システムにおいての使用が考えられる。



メリット

風が得られる場所であれば容易に設置可能
陸上だけでなく洋上においても発電が可能
エネルギー変換効率が良い
CO₂を排出しない
資源が枯渇する心配がない
夜間においても発電が可能
発電コストが比較的安い

デメリット

発電量が風向きや風速に影響される
強風時に、ブレードの損傷などの危険がある
系統への制約
騒音等の問題
初期費用の高さ

A1-5 愛知工業大学 田中 蒼



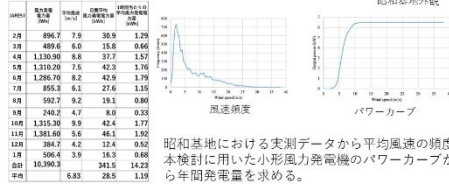
■ 南極昭和基地消費電力量

昭和基地発電量及び消費電力量表

月別消費電力量 (kWh)	2019年12月	2020年1月	2020年2月	2020年3月	2020年4月	2020年5月	2020年6月	2020年7月	2020年8月	2020年9月	2020年10月	2020年11月	2020年12月
消費電力量	114,076.0	1,710.1	896.7	35,399.9	152,682.7	120,434.0	1,527.0	489.6	43,088.1	165,538.7	123,979.9	1,342.5	1,136.26
発電電力量	33,779.0	295.2	1,310.20	41,949.9	174,763.3	129,661.0	0.0	1,286.70	39,628.5	170,579.2	179,027.7	31.3	855.3
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
発電電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0	848.3	592.7
消費電力量	130,297.0	848.3	592.7	45,112.4	176,450.4	130,297.0							

■ 南極昭和基地 気象条件

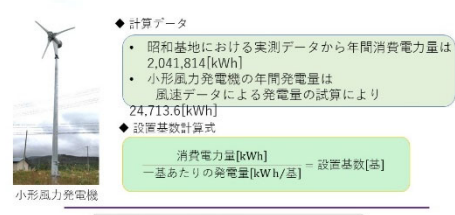
南極昭和基地月別気象条件
及び発電量



風速の頻度とパワーカーブから年間発電量は24,713.6[kWh]である。

AI-5 愛知工業大学 田中 浩

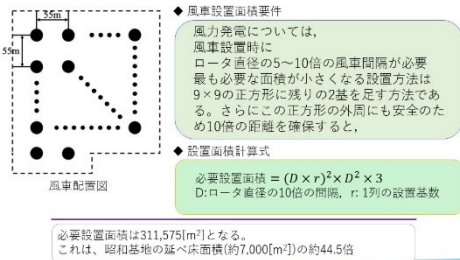
■ 必要設置基数



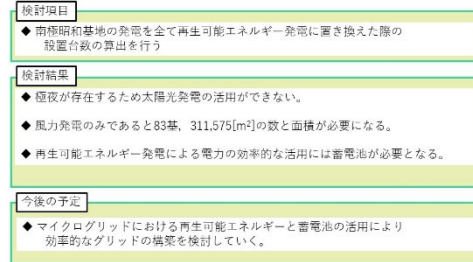
必要な設置基数は83基である。
これにより、南極昭和基地の電力を賅うことができ
る。

AI-5 愛知工業大学 田中 浩

■ 小形風力発電機設置面積



AI-5 愛知工業大学 田中 浩



AI-5 愛知工業大学 田中 浩

(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， 資産番号： 41901281

14. 一般家電機器の直流給電対応の可能性検討に関する一考

(1) 研究概要

2021年6月18日に内閣府より発表された「成長戦略実行計画」において述べられているように、脱炭素化の実現を目指すには、再生可能エネルギーは中心的な役割を果たすものとされており、今後最大限導入する必要がある。一方、再エネ設備のコスト低減や発電効率向上もあり、負荷・需要家にも再エネの導入が進んできている。

この再生可能エネルギーによる発電装置に注目すると、太陽光発電、水素を利用した燃料電池などの発電装置においては発電出力が直流である。そこで直流電力を効率的に利活用するためには、発電から負荷までの交直変換による損失を最小化し使用することが必要不可欠である。

直流給配電のメリットとして、周波数による系統連系、電圧・電流による位相差が発生しないことから、無効電力を必要としない点があげられる。

さらに省エネルギー対策の一つとして注目されており、電力損失を減少させるため、直流給電による住宅やデータセンターなどの需要施設での検討や事例が報告されている。

そこで、我々も2005年から交流/直流(AC/DC)ハイブリッド型マイクログリッドについて提案し、多面的な実証実験を数多く行ってきた。特に、直流給配電については、学内に直流配電線を敷設し、直流機器を導入した工場を模擬した直流スマートファクトリについても検討している。この

電力を消費する一般家電機器や設備については、交流（AC 100V や 200V）を入力するものの、内部で直流に変換し、再度交流を供給するインバータや LED、また蓄電池の充電など直流のまま消費するタイプの機器も増えてきている。

この再エネの大量導入に加えて、省エネ・電力変換ロスの低減を可能とする負荷機器の直流利用は、将来のエネルギー利用の観点で重要な検討事項の一つになり得る。特に直流送配電や直流給電を適用する場合、技術的な課題として挙げられる事項は、遮断、アーク、過電圧、絶縁、感電防止、接地、電蝕などであり、多くの報告がある。

本論文では、直流給電を構成する際の直流負荷機器の内部に接続されたコンデンサの初期充電時に生ずるインラッシュ電流に注目し、直流の電力品質が機器に与える影響とその対策の一案について、検討したので報告する。

(2) 研究内容報告



目次

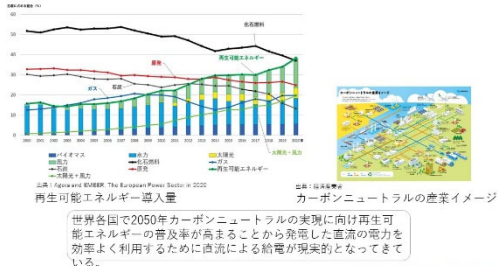


一般家電機器の直流給電対応の可能性検討に関する一考

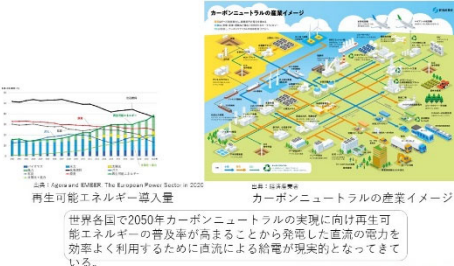
18
愛知工業大学 田中 蒼

- ◆ 研究背景
- ◆ 目的及び検討事項
- ◆ 瞬時電圧低下試験
 - 試験方法及び使用機器
 - 試験結果
- ◆ 突入電流防止試験
 - 試験方法及び使用機器
 - 試験結果
- ◆ まとめ

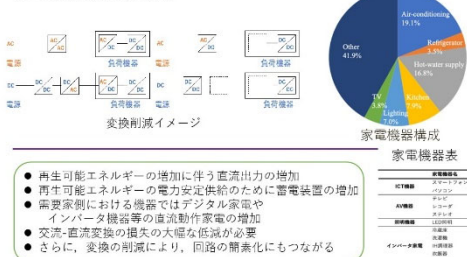
■ カーボンニュートラルの実現



■ カーボンニュートラルの実現



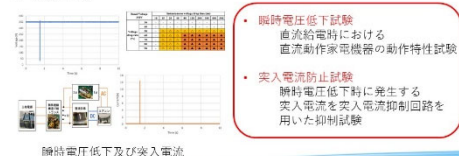
■ 直流給配電の必要性



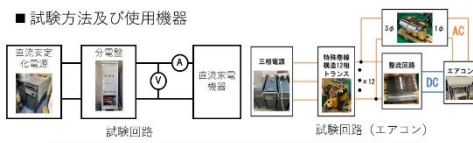
■ 目的

直流給電時における瞬時電圧低下時の
直流動作家電の動作特性検証
及び瞬時電圧低下時に発生する突入電流の抑制の一検討

■ 検討事項



■ 試験方法及び使用機器



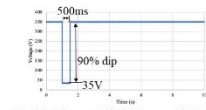
◆ 使用家電機器

LED lighting		Air-conditioning	
Rated power	100 W	Rated power	100 W
Rated power consumption	30 W	Cooling capacity	2.2 kW
LCD TV		Heating capacity	2.2 kW
Rated power	100 W	Cooling power consumption	560 W
Rated power consumption	150 W	Cooling current	6.5 A
Refrigerator		Heating power consumption	1020 W
Rated power	100 W	Heating current	11.5 A
Rated power consumption of the electric motor	95 W		
Rated power consumption of the electric heating device	154 W		

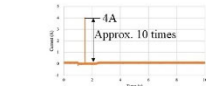
第3会場 1号館30118 愛知工業大学 田中 浩

■ 試験結果 (LED照明)

◆ 電圧・電流波形



電圧低下率90%瞬停時間500ms時電圧波形



電圧低下率90%瞬停時間500ms時電流波形

◆ 家電機器動作表

Rated Voltage 300V	10	15	20	40	60	120	200	400	500
LED lighting	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Voltage drop rate (%)	10	15	20	40	60	120	200	400	500
Operation	△	△	△	△	△	△	△	△	△
Drop rate (%)	10	15	20	40	60	120	200	400	500
Operation	△	△	△	△	△	△	△	△	△

△: 電圧低下後1.0 sに満たない時間消灯又は減光が発生したことを表している。
▲: 電圧低下後、消灯した後△よりも長く3.0 s経過後に継続し、再点灯したことを表している。

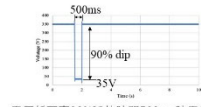
縦: 電圧低下率

横: 瞬時電圧低下継続時間

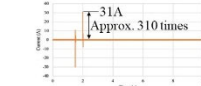
第3会場 1号館30118 愛知工業大学 田中 浩

■ 試験結果 (液晶テレビ)

◆ 電圧・電流波形



電圧低下率90%瞬停時間500ms時電圧波形



電圧低下率90%瞬停時間500ms時電流波形

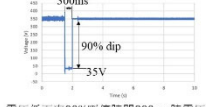
Rated Voltage 300V	10	15	20	40	60	120	200	400	500
LCD TV	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Voltage drop rate (%)	10	15	20	40	60	120	200	400	500
Operation	△	△	△	△	△	△	△	△	△
Drop rate (%)	10	15	20	40	60	120	200	400	500
Operation	△	△	△	△	△	△	△	△	△

△: 電圧低下後、10.0 s間動作が停止し、その後自動的に復帰したことを表している。
▲: 電圧低下後、1.0 sに満たない時間、画面が点滅又は残像が現れたことを表す。
×: 画面が消灯し継続したことを表す。
●: 電圧低下後、電源ランプが点滅表示となり、液晶TVが電源エラーを検知したことを表している。

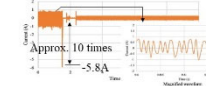
第3会場 1号館30118 愛知工業大学 田中 浩

■ 試験結果 (冷蔵庫)

◆ 電圧・電流波形



電圧低下率90%瞬停時間300ms時電圧波形



電圧低下率90%瞬停時間300ms時電流波形

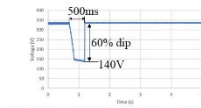
Rated Voltage 300V	10	15	20	40	60	120	200	400	500
Refrigerator	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Voltage drop rate (%)	10	15	20	40	60	120	200	400	500
Operation	△	△	△	△	△	△	△	△	△
Drop rate (%)	10	15	20	40	60	120	200	400	500
Operation	△	△	△	△	△	△	△	△	△

△: 電圧低下後、3.0 s後に復帰したことを表している。
▲: 電圧低下後、5 m間停止したことを表す。

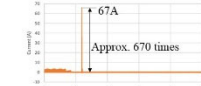
第3会場 1号館30118 愛知工業大学 田中 浩

■ 試験結果 (エアコン)

◆ 電圧・電流波形



電圧低下率90%瞬停時間500ms時電圧波形



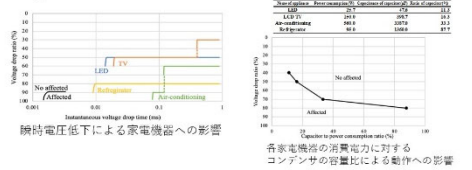
電圧低下率90%瞬停時間500ms時電流波形

Rated Voltage 300V	10	15	20	40	60	120	200	400	500
Air-conditioning	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Voltage drop rate (%)	10	15	20	40	60	120	200	400	500
Operation	△	△	△	△	△	△	△	△	△
Drop rate (%)	10	15	20	40	60	120	200	400	500
Operation	△	△	△	△	△	△	△	△	△

△: 電圧低下後、電源ランプが点灯し、室外機は電圧低下直後に停止したが、室内機は動作が減少した状態で動作し続け、5 m後に室外機、室外機の動作が共に復帰したことを表している。
▲: 電圧低下後、電源ランプは点灯し、室外機は1 m後に動作が停止したが、室内機は動作が減少した状態で動作し続け、5 m後に復帰したことを表す。
×: 電圧低下後、電源ランプが点灯し、室外機室内機共に完全に動作を停止したことを表している。

第3会場 1号館30118 愛知工業大学 田中 浩

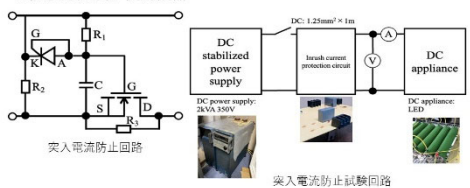
■ 瞬時電圧低下による家電機器への影響



LED照明と液晶TVでは、影響が現れる電圧低下率、瞬低継続時間が共に近くなっている。
冷蔵庫では、電圧低下率が大きくなるまで動作への影響が現れていない。
エアコンでは、電圧低下率が小さい場合においても機器の動作に影響が現れている。

第3会場 1号館30118 愛知工業大学 田中 浩

■ 試験方法及び使用機器

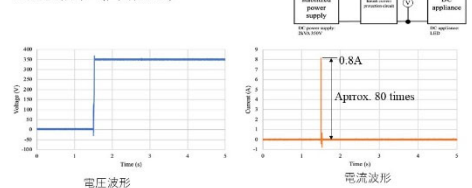


◆ 突入電流防止試験回路

負荷回路にMOSFETを直列に接続している。
MOSFETのドレイン(D)-ソース(S)間に対して抵抗を接続することで機器のコンデンサ(C)と抵抗R3の回路により、インラッシュ電流を抑制している。
通常時においては、ゲート(G)に電圧が印加されることによりD-S間が導通し、抵抗R3による損失を防いでいる。

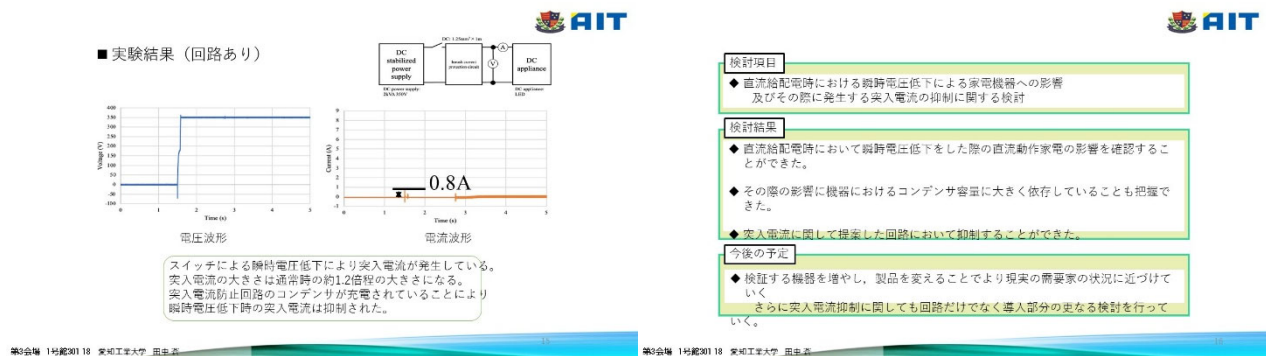
第3会場 1号館30118 愛知工業大学 田中 浩

■ 実験結果 (回路なし)



実際の回路においてスイッチによる電源投入により突入電流が発生している。
突入電流の大きさは通常時の約80倍程の大きくなる。
突入電流防止回路が投入されていないことにより抑制ができていない。

第3会場 1号館30118 愛知工業大学 田中 浩



(3) 主な使用機器

- ・ 固定資産登録品名：交流電源装置，資産番号：41201270
- ・ 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：液晶テレビ，資産番号：41201019
- ・ 固定資産登録品名：電源品質アナライザ，資産番号：41100996

15. 再生可能エネルギーを利用したソーラーカーポートの実証試験

(1) 研究概要

再生可能エネルギーの利活用に注目した政策および指針が企画および計画されている。特に持続可能な開発目標(SDGs)においては、7番目の目標(SDG7)「すべての人々が安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する」ことが掲げられている。SDG7は誰でもエネルギーを身近に安全に安定的に使用できることが求められている。日本政府は、環境に配慮したエネルギーに関する政策「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を2021年に宣言した。この内容は、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの排出量の削減やゼロエミッション車両(ZEV)の開発および導入をすすめることである。これらの観点から再生可能エネルギーを有効的に利活用し、環境に配慮したエネルギーの使用方法が求められている。このような状況の中、再生可能エネルギーを利用したシステム例は数多く研究・調査・開発が進められている。これまでにマイクログリッド、直流給電システムの研究開発を当センターは実施してきた。

本研究では、SDG7とカーボンニュートラルに注目し再生可能エネルギーのみを利用したソーラーカーポートモデルを提案し、電気自動車を主な負荷とした自立運用に関する実証試験を行った。その結果、提案するソーラーカーポートモデルにおいて、電気自動車のエネルギー使用量とシステムの運用方法を確認することができた。さらに、ガソリン車から電気自動車へ移行した場合における二酸化炭素排出削減量も試算した。

本研究では、再生可能エネルギーを太陽光発電として、この発電電力のみで電気自動車を運用するソーラーカーポートを構築した。太陽光発電のみを利用した自立運用システムを構築し、電気自動車を運用するソーラーカーポートである。太陽光発電装置、PCS(Power Conditioner System)、変

圧器、電気自動車充電装置、LED 照明（夜間）、蓄電池から構成される。太陽光発電装置は PCS へと電力を送り、PCS は蓄電池の充放電管理を行う。電気自動車と LED 照明は変圧器を通して PCS より給電される。

本研究の実証試験では、ソーラーカーポートを稼働することで二酸化炭素排出削減効果が見込めた。二酸化炭素削減効果は、ガソリン自動車の二酸化炭素の排出量 120.0 kg-CO₂ と、55.7 kWh を使用する電気自動車の二酸化炭素排出量は 25.0 kg-CO₂ となった。このことから本論文においてガソリン自動車を電気自動車へ変えることで最大 79.2%の二酸化炭素の排出量削減効果が見込める結果となった。今後は、提案するソーラーカーポートの最適化を目指し長期的な実証を実施する。

(2) 研究内容報告

**再生可能エネルギーを利用した
ソーラーカーポートの実証試験**
・ Verification of Solar Carport Model Using Only Renewable Energy

1. はじめに（背景）

再生可能エネルギー

- 需要家が、再生可能エネルギーから生まれた電力の供給に参加
- FIT制度(太陽光発電)の買取期間満了後の需要家の選択肢

売電の継続か？自家消費か？

再生可能エネルギーの有効的な制御や運用手法の開発が必要。
再生可能エネルギーの利用普及を目指した研究を実施している。

- ◆ 地域マイクログリッド
- ◆ 小形風力発電機を利用したオフグリッドでの電力供給システム
- ◆ 直流給電システム

1. はじめに（目的）

本論文では、再生可能エネルギーのみを利用したソーラーカーポートモデルを提案した。

- ソーラーカーポートの構築
- 電気自動車を主な負荷とした自立運用に関する実証試験
- 電気自動車のエネルギー使用量の試算
- ガソリン車から電気自動車へ移行した場合における二酸化炭素排出削減量の試算
- 自立運用システムにおける課題の抽出

2. ソーラーカーポートモデル

PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION

STORAGE BATTERY ← PCS & TRANSFORMER → ELECTRIC VEHICLE

LED LIGHTING

図 ソーラーカーポートモデル

《自立運用システム》

- 太陽光発電装置
- PCS (Power Conditioner System)
- 変圧器
- 電気自動車充電装置
- LED照明(夜間)
- 蓄電池

- 太陽光発電装置はPCSへと電力を送る。
- PCSは蓄電池の充放電管理を行う。

3. 実証試験

ソーラーカーポート
設置場所

警備室横

愛知工業大学

3. 実証試験

図 実証試験システム

表 太陽光発電装置の仕様

Maximum Power	4.2 kW
Maximum Power Voltage	390.9 V
Maximum Power Current	10.7 A
Open Circuit Voltage	465.7 V
Short Circuit Current	11.16 A

表 PCSの仕様

Rated output	10.0 kVA
Rated input voltage	DC400 V
Maximum input current	DC45 A
Output method	Three phase three wire
Rated output voltage	AC202 V

3. 実証試験

《ソーラーカーポートに必要な電力量》

$$SCP_W(\text{kWh}) = EV_W(\text{kWh}) + LED_W(\text{kWh}) + PCS_W(\text{kWh}) + Tr_W(\text{kWh})$$

EV_W : 電気自動車に必要な電力量 LED_W : LED照明の消費電力量
 PCS_W : PCSの消費電力量 Tr_W : 変圧器の消費電力量

《電気自動車に必要な電力量》

$$EV_W(\text{kWh}) = EV_{km}(\text{km}) \times ACP_{er}(\text{kWh/km})$$

EV_{km} : 電気自動車の走行距離 ACP_{er} : 電気自動車の電力消費率

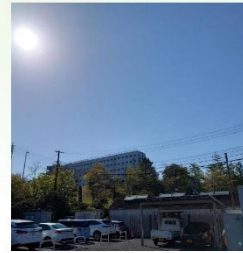


《実証試験での計測点》

- 計測点A: 太陽光発電の出力
- 計測点B: 蓄電池の出入力
- 計測点C: 変圧器の2次側



3. 実証試験



《カーポート》

・全長5270mm ・奥行長さ5265mm

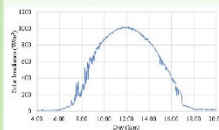
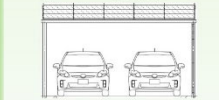


図 日射強度
快晴時に最大1021.0 W/m²



3. 実証試験



軽トラック使用実績 (2021年)
 1日平均 15.79 km
 1ヵ月 480.58 km
 1ヵ月平均燃料使用量 51.68 L
 燃費 9.30 km/L



表 C+pod仕様 (カタログ参照)

全長	2,490mm
全幅	1,290mm
全高	1,250mm
交差電力消費率	W/LTCモード: 34Wh/km
一充電走行距離	W/LTCモード: 150km
駆動電力量	9.0kWh



愛知工業大学



3. 実証試験 (試算・計算方法)

《太陽光発電装置の発電量・二酸化炭素排出量・電費》

太陽光発電の1ヶ月当たりの予想発電量(kWh/月) $\times$ 平均日照時間 $\times$ HECOの太陽電池パネルの発電効率(%)
 = 太陽光発電容量(kW) $\times$ 損失係数 $\times$ 31(日) $\times$ 設置面1日当たりの年平均日射量(kWh/m²/日)

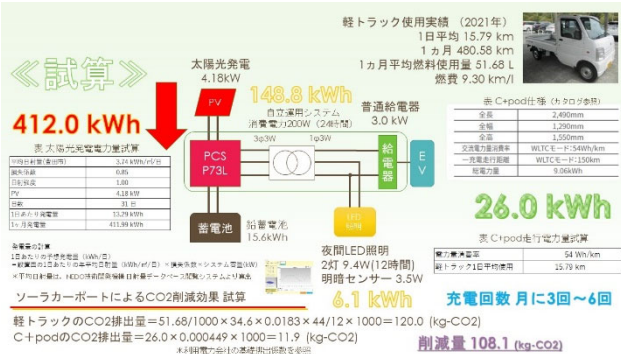
エネルギー起源二酸化炭素排出量(t-CO2)
 = 燃料使用量(k) $\times$ 単位使用量当たりの発熱量(GJ/k) $\times$ 単位発熱量当たりの炭素排出量(t/GJ) $\times$ 44/12

電気使用時の二酸化炭素排出量(t-CO2)
 = 電気使用量(kWh) $\times$ 単位使用量当たりの排出量(t-CO2/kWh)

二酸化炭素排出削減量(kg-CO2) = エネルギー起源(t-CO2) - 電気使用時(t-CO2) $\times$ 1000

実電力消費率(Wh/km) = 充電電力量(Wh) / 走行距離(km)

電気自動車の効率
 ・電力量消費率



4. 実証試験結果

実証試験の1ヶ月間は、商用系統からの電力供給は受けておらず太陽光発電の発電電力のみで電気自動車への給電を実施した。

試験結果: 2023年3月
 提案システムの試算
 実証試験結果

《実証試験計測結果》



図 電力量計測結果

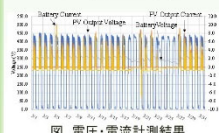
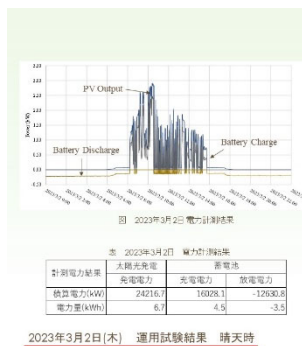
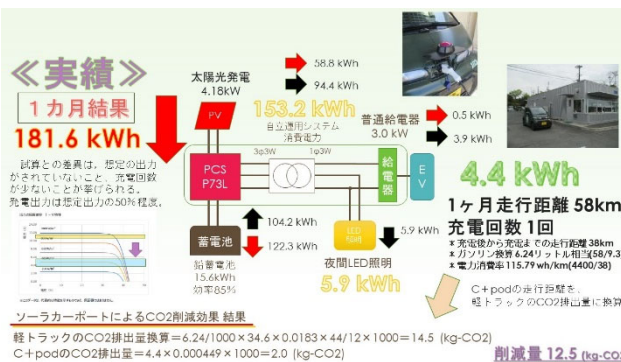
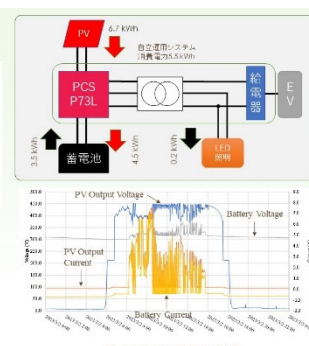


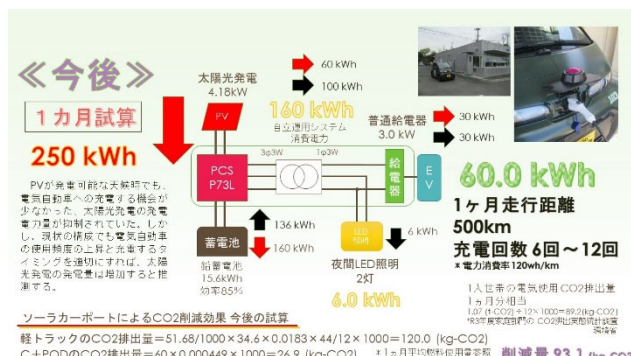
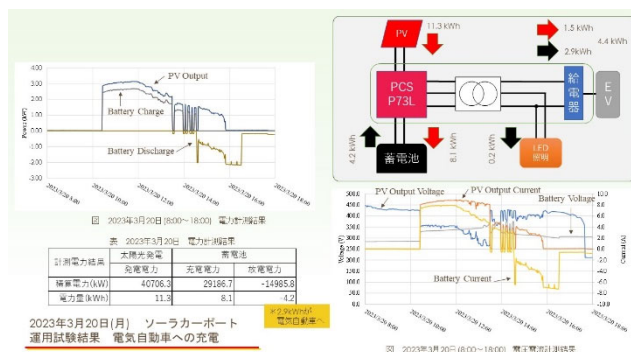
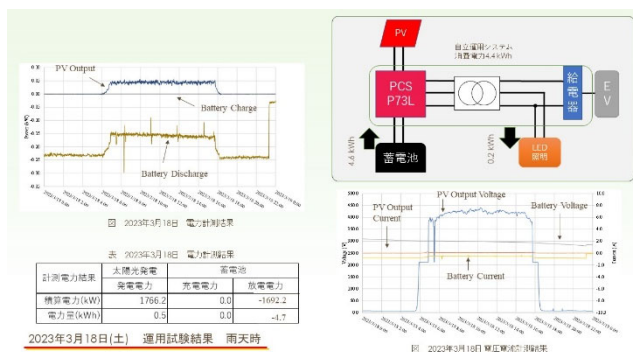
図 電圧・電流計測結果



2023年3月2日(木) 運用試験結果 晴天時



2023年3月2日(木) 運用試験結果 晴天時



(3) 主な使用機器

- 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 3274，資産番号：42001089

16. 変圧器タップ切り替えによる小形風力発電機の運用手法の研究

(1) 研究概要

近年、マイクログリッドの構築及び再生可能エネルギーの活用が注目されている。マイクログリッドは、エネルギーの地産地消を可能としており効率的に発電した電力を活用することができる。マイクログリッドは災害時にでも自立運転が可能であり、小規模な電力系統であれば停電時にも電力供給が可能である。小形風力発電機は、幅広いパワーバンドで運用することができれば高効率な運用が可能となる。特に風況環境が良い場所に設置された小形風力発電機は、高回転域に達し、回転数を抑制するための制動抵抗器を使用し、そこでエネルギーを消費してしまうことは非常に大き

な損失である。そこで本研究では、高回転域においても制動抵抗器でエネルギー消費をさせるのではなく小形風力発電機を効率的に運用できるシステムの研究を行った。

風力発電は風のエネルギーを電気エネルギーに変えるために用いられている発電方式である。風力発電機は発電量を増加させるため、MW 級の大型風力発電機の導入が進められてきた。しかしながら、大型であるが故に設置場所の条件が非常に厳しく、コストも非常に大きくなる。小形風力発電機は、電力消費地の近くで設置も容易であり、大型風力発電機より低い風速でも発電が可能である。小形風力発電機は、整流器を通してパワーコンディショナ(PCS: Power conditioning system)に入力し系統や負荷に給電している。整流器には制動抵抗が並列に接続されている。制動抵抗器は小形風力発電機に設置される。風況環境が良い場所に設置された小形風力発電機は、高回転域に達しやすく発電出力が増加した際に、過電圧が発生するのを防止するため、回転数を抑制することを目的として設置されている。制動抵抗器にはホーロ抵抗等が使用させることが多いため、電気エネルギーを消費してしまう。小形風力発電機を高効率で用いるために、パワーバンドを幅広く活用して発電を行っても、発電出力が制動抵抗器で消費されてしまう。

整流器には直流電圧上昇制御機能として、整流器の出力電圧が上限電圧達すると制動抵抗器へ電流が通電されるようになっている。制動抵抗器の通電解除は設定した下限電圧で解除される。整流器の出力電圧が上限電圧に達した時点で制動抵抗器に通電しており、それ以上の電圧上昇の抑制ができていない。これにより過電圧となることを防いでいるが、制動抵抗において電力を消費しているため効率的な小形風力発電機の運用ができていない。

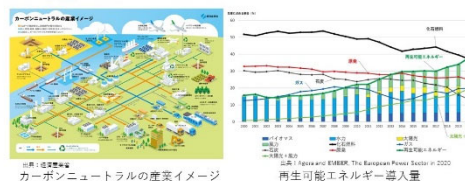
本研究では、制動抵抗の動作を防ぐ手法として変圧器タップの切り替え手法を提案した。変圧器タップ切り替え手法とは、小形風力発電機の回転数が高回転域に達して、制動抵抗に電力が給電されるのを防ぐため、変圧器おけるタップの切り替えにより電圧を降圧させる。その結果、小形風力発電機が高回転域に達した際の制動抵抗器への通電を避けることができ損失とならずに系統や負荷へ給電することが可能となる。

(2) 研究内容報告

小形風力発電機の 高回転域における運用手法の研究

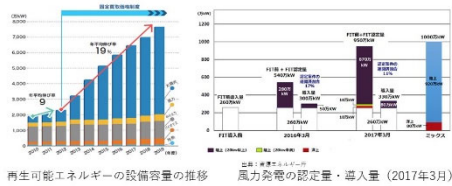


■ 再生可能エネルギーによるカーボンニュートラルの実現



世界各国で2050年カーボンニュートラルの実現に向け再生可能エネルギーの普及率が高まってきている。

■ エネルギーミックスに向けた風力発電



日本国内においても、2030年のエネルギーミックスの目標を立てている。その中でも、風力発電の導入量を1000万kWの見通しを立てている。

■ 小形風力発電

小形風力発電はオフグリッドや小規模系統においての使用が考えられることから、軽負荷時の運転に関して考慮していく必要がある。



小形風力発電機の一つ

メリット

風が得られる場所であれば容易に設置可能
効率的に発電電力を使用
商業家の近くに設置される
エネルギー変換効率が良い
CO2を排出しない
資源が枯渇する心配がない
夜間においても発電が可能
発電コストが比較的低価

デメリット

発電量が風向きや風速に影響される
強風時に、ブレードの損傷などの危険がある
系統への制約
騒音等の問題
初期費用の高さ
高回転域に達するまでが大型風力発電機より長い

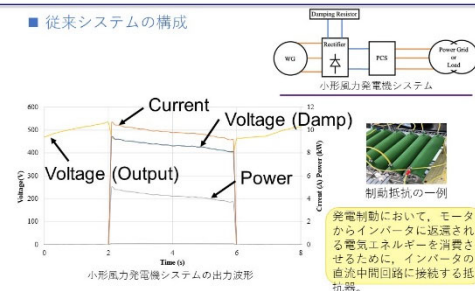
■ 目的

小形風力発電機が、高回転時に於いて、機器保護のため制動抵抗器でエネルギー消費をさせるのではなく、変圧器を用いることで効率的に運用できるシステムの検討

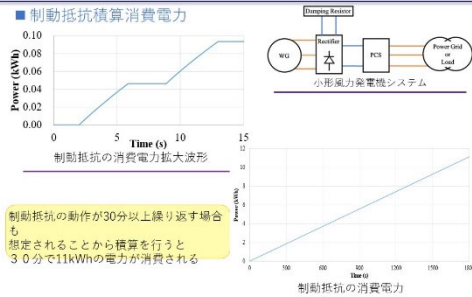
■ 検討事項

- 従来小形風力発電機システムでの制動抵抗の活用
- 変圧器を用いることによる電力の有効活用

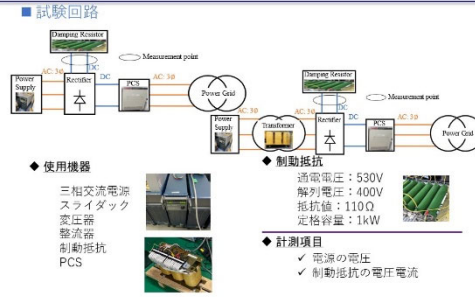
■ 従来システムの構成



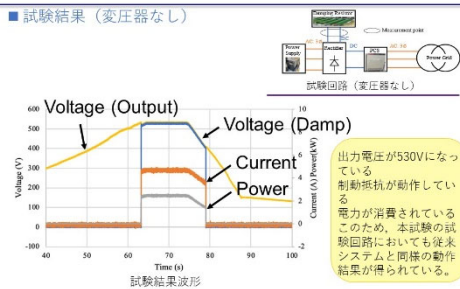
■ 制動抵抗積算消費電力



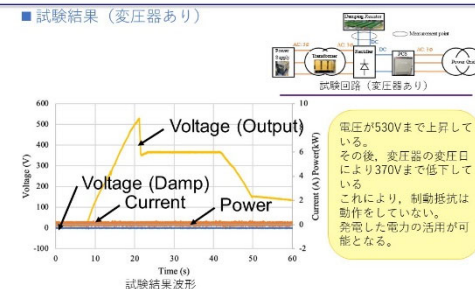
■ 試験回路



■ 試験結果（変圧器なし）



■ 試験結果（変圧器あり）



検討項目
◆ 小形風力発電機の発電出力を効率的に活用するため、変圧器による変圧比の変換を行うことで制動抵抗に通電させることなく給電を行う。
検討結果
◆ 試験回路において従来システムと同様の結果を確認した。 ◆ 変圧器により、制動抵抗に通電しないことが確認できた。 ◆ 小形風力発電機における高回転域時における発電電力を抵抗による損失とすることなく、系統や負荷への効率的な運用が可能となることが確認できた。
今後の予定
◆ 今後、マイクログリッドのための小形風力発電機システムの制御・運用手法の開発のために役立てたいと考える。

(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