

第2章 研究内容報告

1. 八草キャンパス消費電力量の年度変化と建物種別毎の特徴分析及び新2号館のBEMS改善

(1) 研究概要

本研究では、八草キャンパスの新型コロナウイルス感染症と完全週休二日制による消費電力量の増減状況を明らかにすることを目的として各種分析を実施した。また、新2号館のBEMS改善と従来から指摘されていた朝6時頃に発生する消費電力量上昇の原因を調査した。

八草キャンパス全体の消費電力量の経年変化としては、2016年度に最大値を記録した以降は、徐々に減少し、コロナの影響が大きかった2020年度が最小値となり、2021年度は若干増加した。

コロナによる影響を分析したところ、建物毎で傾向が異なり、①クラブハウスのように年間を通して減少、②10号館のような講義中心の建物では前半は減少し後半は例年並み、③新2号館のように研究室が中心の建物では前半減少し後半は増加、④総合技術研究所のように年間を通してほぼ例年通り、の4パターンに分類できることが分かった。

2021年4月から始まった完全週休二日制の影響については、年間消費電力量では約30MWhほど2021年度のほうが少なく、月別で比較すると前期においては大きな差はないものの2019年度よりも2021年度のほうが全体的に低い数値となっている。最も影響を受けると考えられる土曜日について建物別に2019年度データと比較したところ、事務室系などの職員が主に使用する施設では、数値の低下を確認できた。また、講義室系などでも土曜日の消費電力量が減少しており、使用頻度が減ったと考えられる。しかし、全体でみると消費電力量の大幅な削減効果は確認できず、研究室系、実験室系、寮系の建物において消費電力量が上昇しており、そのことが原因だと考えられる。

新2号館で表示されているBEMSソフトについては、昨年度改良された時点で年度切り替え時に不具合が発生していた。年度切り替えは日々蓄積されるデータが何年間と蓄積されると膨大な容量になってしまうため、必要なデータに限定・整理して保存する作業であり、新年度の最初にソフトが起動したとき自動的に実行されるものである。この原因を明らかにし、修正作業を実施した。

また、新2号館のコンセント系では、平日の朝6時頃に消費電力が上昇することが確認されていたが、原因は不明であった。そこで、分電盤の回路ごとにセンサーを取り付けて原因を確認したところ、電気式湯沸給湯機の昇温運転によるものと判明した。

(2) 研究内容報告

八草キャンパス消費電力量の 年度変化と 建物種別毎の特徴分析及び 新2号館のBEMS改善

目次

1. 研究の目的
2. 対象建物概要
3. 八草キャンパス消費電力量
4. 新2号館の BEMS 改善
5. まとめ

1. 研究の目的

八草キャンパス全体の省エネルギーを目指す
新2号館のBEMS改善

- ・2012年から現在までの消費電力量の経年変化を調査
- ・コロナ禍がエネルギー消費量に与えた影響分析
- ・完全週休二日制導入によるエネルギー消費量の影響分析
- ・新2号館のBEMSの改善

2. 対象建物概要

八草キャンパスの概要

施設名				
1号館	5号館講義実験棟	計算センタ	愛和会館	八千草寮
1号館別館	6号館	情報教育センタ	AITプラザ	管理室
旧1号館	7号館	総合技術研究所	セントラル食堂	管理室
2号館	8号館	応用化学科実験棟	食堂棟	南ポンプ室
2号館実験棟	9号館	制御実験センタ	御道館	北ポンプ
新2号館	10号館	観測実験棟	総合グラウンド	排水処理場
3号館	10号館大講義室棟	地域防災研究センタ	小体育館	総合排水処理施設
3号館別館	11号館	エコ電力研究センタ	クラブハウス	電気室所内
4号館	12号館	本部棟	学生寮1号棟	
4号館別館	13号館	第1本部棟	合宿寮2号棟	
5号館	付属図書館	第2本部棟	合宿寮3号棟	

愛知工業大学の八草にあるキャンパスで、総面積は66万3935㎡、約50の施設が存在する。

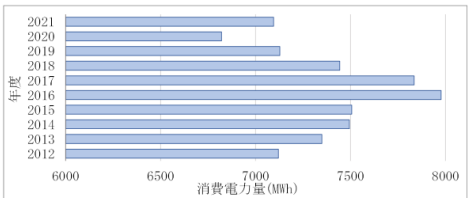
2. 対象建物概要

2012年以降の建物の建替・新設状況

建物名	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
2号館				2015年解体							
2号館実験棟											
新2号館											
5号館				2号館とともに解体							
応用化学科実験棟											
セントラル食堂											
食堂棟											

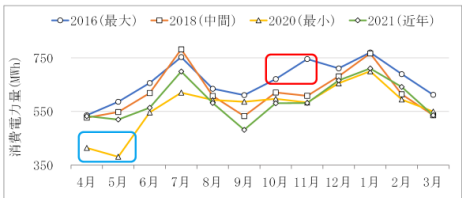
3. 八草キャンパス消費電力量

八草キャンパスの消費電力量の経年変化



3. 八草キャンパス消費電力量

八草キャンパスの消費電力量の経年変化



3. 八草キャンパス消費電力量

カテゴリー	内容
講義室系	第1号館、1号館別館、旧1号館、2号館、5号館、9号館、10号館、10号館大講義室棟、計算センタ、情報教育センタ
研究室系	新2号館、3号館、4号館、4号館別館、6号館、地域防災研究センタ、エコ電力研究センタ
講義室+研究室系	7号館、8号館、11号館、12号館、13号館
実験室系	2号館実験棟、3号館別館、5号館講義実験棟、総合技術研究所、応用化学科実験棟、制御実験センタ、観測実験棟
事務室系	本部棟、第1本部棟、第2本部棟、付属図書館
寮系	学生寮1号棟、合宿寮2号館、合宿寮3号棟、八千草寮、寮食堂
食堂系	愛和会館、AITプラザ、セントラル食堂、食堂棟
その他	評議館、総合グラウンド、小体育館、クラブハウス、警備室、南ポンプ室、北ポンプ室、排水処理場、電気室所内

3. 八草キャンパス消費電力量

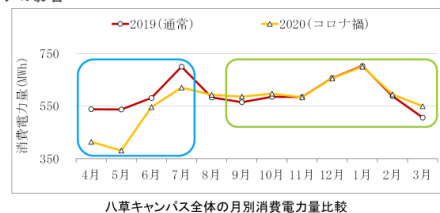
コロナの影響により行われた大学での処置

2020年度

日付	内容
5月4日	遠隔授業開始、学生の入構を禁止とし自宅等で講義を受講
5月14日	緊急事態宣言の解除
5月18日	一部施設の開放、各研究長許可のもと研究室等の活動が再開
5月25日	学内施設の開放、一部実験・実習科目等の再開
6月1日	面接授業を開始、マスクや消毒等の感染対策を実施
7月28日	入校禁止(学内感染者増加)、面接授業、定期試験を禁止
12月3日	入校禁止(学内感染者増加)、面接授業の禁止

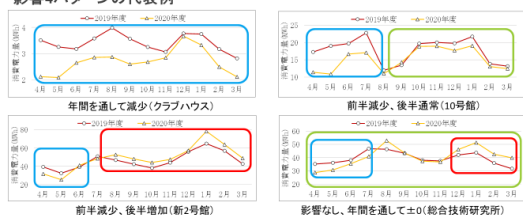
3. 八草キャンパス消費電力量

コロナの影響



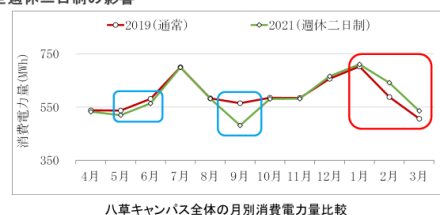
3. 八草キャンパス消費電力量

影響4パターンの代表例



3. 八草キャンパス消費電力量

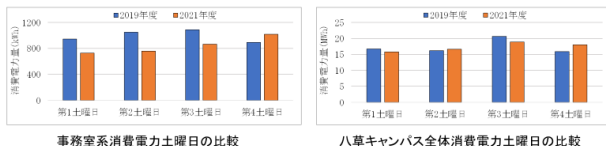
完全週休二日制の影響



3. 八草キャンパス消費電力量

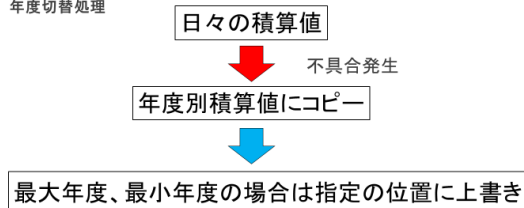
土曜日の比較

週休二日制は土日を休日とするものだが日曜日はもともと休日のため土曜日の比較を行った。



4. 新2号館の BEMS 改善

年度切替処理



4. 新2号館の BEMS 改善

修正内容

DH	DI	DJ	DK
			全体積算値
年	月	日	
2022	7	21	132195.2
2022	7	22	133988.9
2022	7	23	135026.2
2022	7	24	136094.6
2022	7	25	138147.8

改善前の電気元データ

DJ	DK	DL	DM
EHP	コンセント系	電灯系	研究室
8298.05	25467.68	15096.24	12630.06
8498.79	25927.73	15335.2	12822.67
8614.87	26315.7	15487.98	13002.79
8881.12	26809.15	15807.94	13243.89
9040.14	27271.8	16094.06	13485.56

改善後の電気元データ

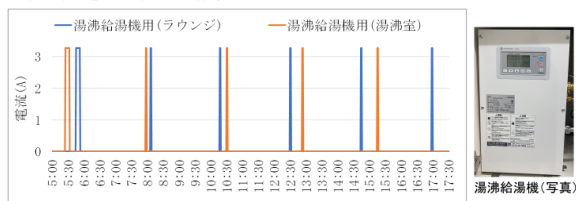
4. 新2号館の BEMS 改善

朝6時の電力上昇



4. 新2号館の BEMS 改善

朝6時の電力上昇の調査結果



5. まとめ

- ・八草キャンパス消費電力量の年度変化と建物種別ごとに特徴分析を行った。
- ・コロナ禍が八草キャンパス消費電力量に与えた影響を建物種別ごとに特徴分析を行い、4パターンの影響を確認した。
- ・週休二日制が八草キャンパス消費電力量に与えた影響を建物種別ごとに特徴分析を行い、事務室系で効果を確認できた。
- ・新2号館BEMS画面の年度切替時の不具合の改善を行った。
- ・昨年の研究で疑問が残ったコンセント系の消費電力量が朝5時から朝7時にかけて上昇する原因調査し、湯沸給湯機関係が原因と判明した。

(3) 主な使用機器

- ・備品登録名：パーソナルコンピュータ（本体），資産番号：42100282
- ・備品登録名：WEB サーバ搭載広域分散型・遠隔計測システム，資産番号：41500444

2. インバータ電源大量導入時における電力系統の電圧制御

(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。

本研究では，インバータ電源の定力率運転を行う場合について，力率を背後インピーダンスの R/X 比と電力系統の有効電力・電圧特性（ $P-V$ カーブ）の最大電圧から定める新しい方法を提案した。この力率による場合，系統の皮相電力・電圧特性が，背後インピーダンスの大きさやその R/X 比に関わらず，同一となることを明らかにした。すなわちこの力率でインバータを運転した場合，背後インピーダンスの抵抗分とインバータ力率が電圧に与える影響が相殺される。またインバータ電源が線路上に均一に分布している場合を対象に電圧分布の分析を行い，この場合でも提案力率が電圧変動の抑制面から有効であることを示した。

(2) 研究内容報告

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)

IEEJ PES-IEEE PES Thailand Joint Symposium on
Advanced Technology in Power Systems 2023
TJS-23-002

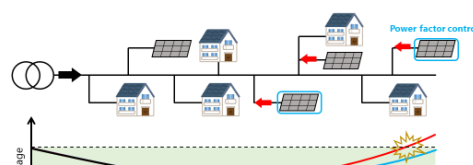
Outline

- 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
- 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

Background

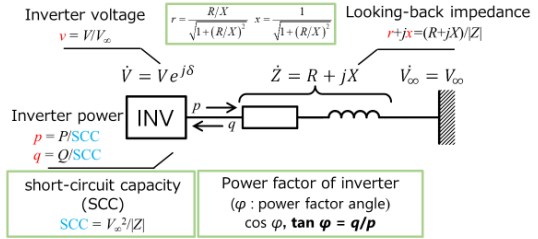


We will propose a novel method to determine a power factor for inverter-interface distributed generation.
In the proposed method, we try to stabilize the voltage at the inverter terminal, based on power-voltage characteristics ($P-V$ curves) of the power system.

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

System model including an inverter



Derivation of p - v curve

The complex power relationship equation and Ohm's law

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

From these two equations

$$(RP + XQ - V^2)^2 + (RQ - XP)^2 = (VV_o)^2$$

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

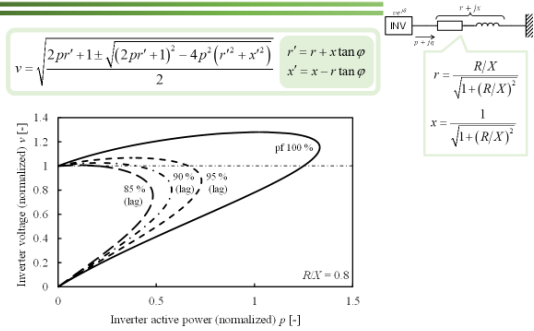
$$(R'P - V^2)^2 + (X'P)^2 = (VV_o)^2$$

Normalization will result in

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

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

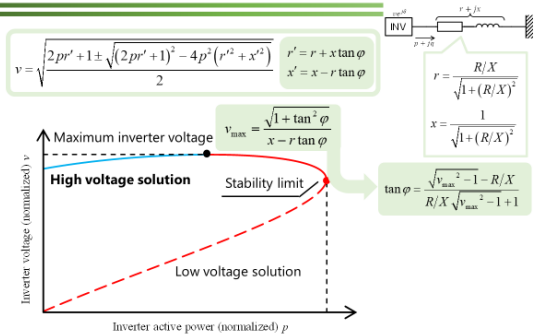
p - v curves with power factor control



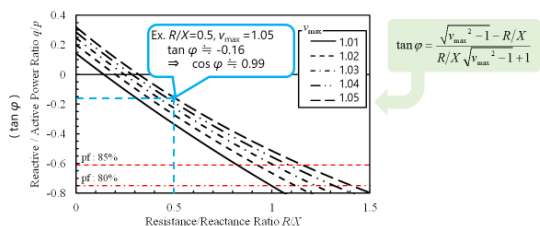
Outline

- 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

Proposal of method for selecting a power factor of an inverter



Relationship between q/p and R/X for various v_{max}



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.

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

Derivation of equations representing a s-v curves

• Applies to p-v curve

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

Change to a function of inverter active power p

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

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

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

• r' and x' of proposal power factor

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

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

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

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

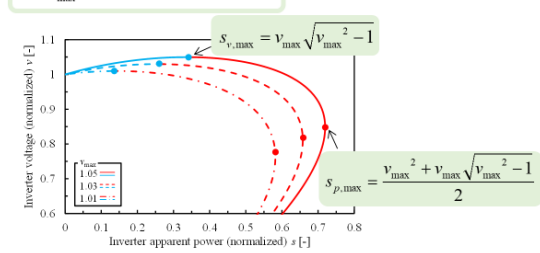
$$r' = \frac{\sqrt{v_{\max}^2 - 1}}{r' \sqrt{v_{\max}^2 - 1} + x} = x' \sqrt{v_{\max}^2 - 1}$$

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

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

Discussion on s-v curves with the proposed method

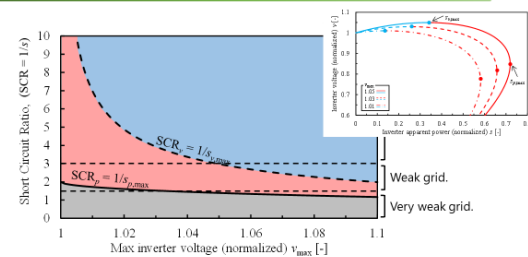
$$s = \frac{v}{v_{\max}} \left(\sqrt{v_{\max}^2 - 1} \pm \sqrt{v_{\max}^2 - v^2} \right)$$



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

Discussion on short-circuit ratio



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

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

- 固定資産登録品名：ノートパソコン，資産番号：42000705

3. 系統周波数低下時における風力発電の慣性応答の可能性評価

(1) 研究概要

近年、資源の枯渇や地球温暖化への懸念から、電力系統へ太陽光や風力といった、再生可能エネルギー電源の導入量が増加している。再エネ電源はインバータを介して電力系統へ接続され、これらの電源が増加すると相対的に同期発電機の割合が減少し、系統の慣性が低下する。その結果、系統事故が生じた際には、周波数を一定に保つ力が弱くなるため、周波数変動が増大する恐れがある。一方、近年の風力発電機では高速な出力制御が可能であり、系統事故時には風車出力を制御することで同期発電機のような慣性を疑似することが可能である。

そこで本研究では、風力発電の慣性応答の可能性についてシミュレーションにより評価した。一定の風速のもとで風力発電の出力増加幅を変化させた場合の影響を解析し、疑似慣性制御終了後の周波数や出力係数の低下を抑えられるという面から、継続時間を 5s 程度とすることが望ましいことが分かった。また様々な風速レベルで風速が変動する場合の解析を行い、基準風速が大きい場合は、風速変動も大きいため疑似慣性制御後に風力発電出力を大きく低下させる必要があること、基準風速が低い場合は風力発電の出力増加幅が大きくなるにつれて出力係数の低下も大きくなることに注意を要することを明らかにした。

(2) 研究内容報告

RIT愛知工業大学

風力発電機の疑似慣性制御手法
-出力増加幅の違いが疑似慣性制御に及ぼす影響-

原田 浩輔 七原 俊也 雪田 和人 (愛知工業大学)

2022/9/9 電気学会電力・エネルギー部門大会

第9会場 風力発電 講演番号278 原田浩輔 (愛知工業大学)

1/20

RIT愛知工業大学

目次

1.研究背景・目的

2.シミュレーションモデルの概要

3.シミュレーション条件

4.シミュレーション結果・考察

5.まとめ・今後の課題

第9会場 風力発電 講演番号278 原田浩輔 (愛知工業大学)

2/20

RIT愛知工業大学

研究背景

- 電力系統への再エネ電源の導入量が増加傾向にある
- 再エネ電源の増加により、同期発電機の割合が減少し、**系統の慣性の低下**が懸念される

↓

系統事故時に**周波数低下が大きくなる恐れ**

- 一方、風力発電機には回転体があるため、インバータを制御することで、回転体に蓄積されていたエネルギーを放出し、**疑似的に慣性を具備**できる可能性がある

周波数 [Hz]

電源脱落発生

高慣性

低慣性

周波数最大偏差 (Nadir)

時間[s]

第9会場 風力発電 講演番号278 原田浩輔 (愛知工業大学)

3/20

RIT愛知工業大学

研究目的

先行研究¹⁾では、風速レベルの違いによる疑似慣性制御への影響についての解析を行った

本研究では、風速を一定の下で、疑似慣性制御の出力増加幅を変化させた場合の解析を行い、どのような制御が望ましいか考察する

1. 原田・七原他「風力発電機の疑似慣性制御手法 -出力増加幅と増加時間に関する検討-」, 令和4年電気学会全国大会(2022)

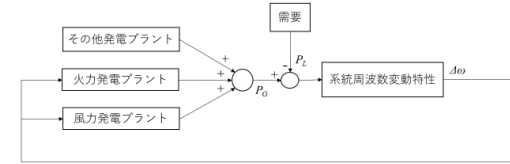
第9会場 風力発電 講演番号278 原田浩輔 (愛知工業大学)

4/20

25

シミュレーションモデルの概要

系統周波数変動特性モデルおよび、火力、風力、その他プラントモデルからなる以下モデルにより周波数変動を算出する



第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔 (愛知工業大学)

5/20

系統周波数変動特性モデル

以下に示す同期発電機の運動方程式により、系統周波数の変動を算出する

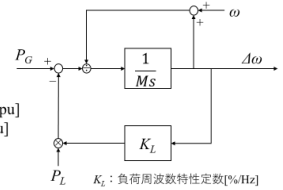
$$\Delta\omega = \frac{1}{Ms} \frac{1}{\omega} (P_G - P_L)$$

$\Delta\omega$: 系統周波数偏差[pu] ω : 系統周波数[pu]
 M : 系統の単位慣性定数[s] P_G : 総発電[pu]
 P_L : 総需要[pu] s : ラプラス演算子

※本モデルにおいて系統の慣性定数 M は10s,基準周波数は60Hz,負荷周波数特性定数は3.3%/Hzとした

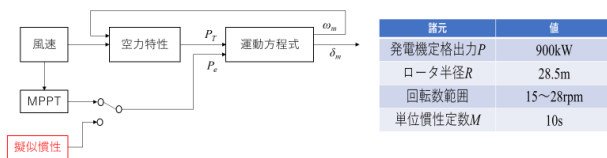
第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔 (愛知工業大学)

6/20



風力発電モデル

空力モデルと運動方程式モデルから構成される以下のモデルを使用する



第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔 (愛知工業大学)

7/20

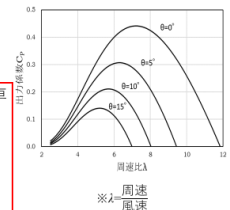
風力発電モデル：空力モデル

風車から取り出せるパワーを P_T として、以下に表す式により算出する

$$P_T = \frac{1}{2} C_p \rho \pi R^2 u^3$$

ρ : 空気密度 R : 風車半径
 u : 風速 C_p : 出力係数

出力係数 C_p は次式に示すピッチ角 θ と周速比 λ (風車翼の先端速度と流入風速の比) の関数で近似する
 $C_p(\lambda, \theta) = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda} - c_3 \theta - c_4 \theta^{c_5} - c_6 \right) \exp\left(-\frac{c_7}{\lambda}\right)$
 ここで、 $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_i + c_8 \theta} - \frac{c_9}{\theta^3 + 1}$ c_i : 定数
 $\lambda_i = \frac{\omega R}{u}$ ω : 風車角速度

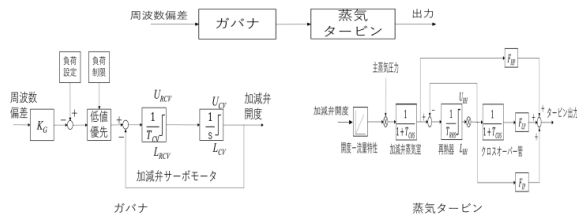


第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔 (愛知工業大学)

8/20

火力モデル

以下に示すモデルにより、出力を制御する

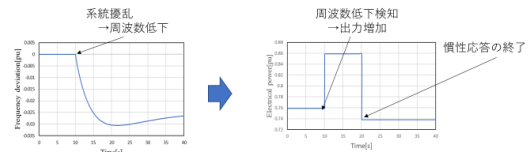


第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔 (愛知工業大学)

9/20

Hydro-Quebecにおける風力発電機の疑似慣性制御手法

大幅な周波数低下を検知した際に、風力発電出力を一定時間増加させる制御手法が提案されている



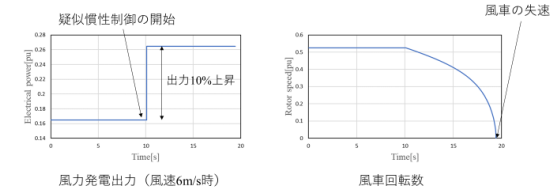
出典: Mohamed Asmine, Charles-Eric Langlois, Noel Aubert "Inertial response from wind power plants during a frequency disturbance on the Hydro-Quebec system - event analysis and validation". IET Renew Power Gender 2018, Vol. 12 Iss. 5, pp. 512-522

第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔 (愛知工業大学)

10/20

疑似慣性制御における風車の失速

疑似慣性制御を行う際には風車の失速に注意を要する

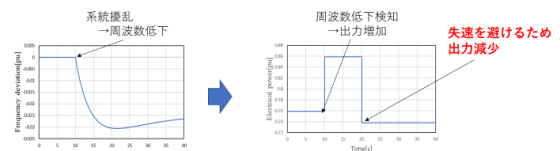


第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔 (愛知工業大学)

11/20

Hydro-Quebecにおける風力発電機の疑似慣性制御手法

大幅な周波数低下を検知した際に、風力発電出力を一定時間増加させる制御手法が提案されている



出典: Mohamed Asmine, Charles-Eric Langlois, Noel Aubert "Inertial response from wind power plants during a frequency disturbance on the Hydro-Quebec system - event analysis and validation". IET Renew Power Gender 2018, Vol. 12 Iss. 5, pp. 512-522

第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔 (愛知工業大学)

12/20

シミュレーションの目的

電源脱落時にHydro Quebecにおいて要求されている制御手法に準じて風力発電出力を制御



周波数の最低値や風車の出力係数および回転数の変化を比較する



風力発電の出力増加幅や継続時間の違いによる影響について分析する

第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔(愛知工業大学)

13/20

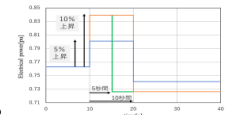
シミュレーション条件

右図のシミュレーションモデルにおいて時刻10sにおいて10%の電源が脱落したとする



Hydro Quebecの制御手法に準じて、風力発電の出力増加幅および継続時間をそれぞれ5~10%,5~10sと変化させる

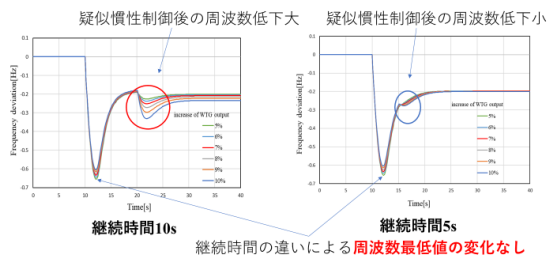
火力機はガバナフリー運転により出力を制御、その他の発電機の出力は一定とする
※各発電の割合は火力8割、風力1割、その他の発電1割とした
風力発電機での周波数の検出には0.1秒要するものとする 風速は8m/sで一定とする



第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔(愛知工業大学)

14/20

シミュレーション結果：周波数

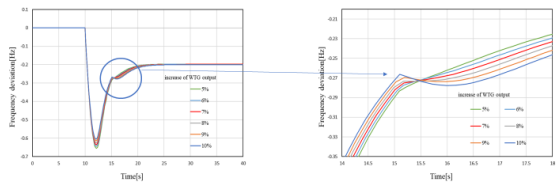


第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔(愛知工業大学)

15/20

周波数波形拡大（継続時間5s時）

出力増加幅が8%以下では、疑似慣性制御後の周波数低下が見られない

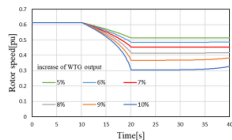


第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔(愛知工業大学)

16/20

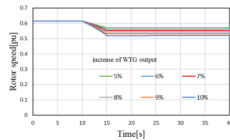
シミュレーション結果：風車回転数

出力増加幅を大きくすると、回転数が大きく低下



第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔(愛知工業大学)

出力増加幅が大きい場合でも、回転数低下を抑えられる

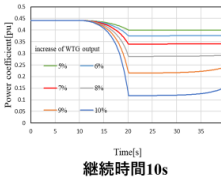


継続時間5s

17/20

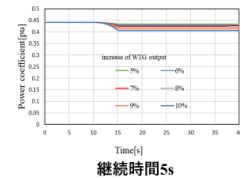
シミュレーション結果：出力係数

出力増加幅を大きくすると、出力係数が著しく低下
→風力発電出力を大きく低下させる必要が生じる



第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔(愛知工業大学)

出力増加幅を大きくした場合においても出力係数の低下を抑えられる

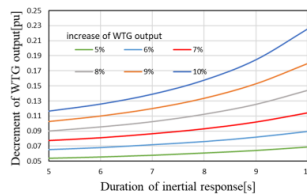


継続時間5s

18/20

疑似慣性制御後の風力発電出力の減少幅

継続時間を長くすると、疑似慣性制御後に風力発電出力を大きく低下させる必要が生じる



第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔(愛知工業大学)

19/20

まとめ

- 疑似慣性制御の継続時間を長くすると、疑似慣性制御終了後の周波数低下、風車出力係数の著しい低下などを招く
- 継続時間の違いにより、周波数最低値が変化しないことに着目すれば、出力増加幅を大きくした場合でも疑似慣性制御後の周波数や出力係数の低下を抑えられる継続時間5sの方が望ましいと考えられる

今後の課題

- 風速変動時における解析
- ピッチ制御を組み込んだ場合における解析

第6会場 風力発電 講演番号:278 原田浩輔(愛知工業大学)

20/20

(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：42000480

4. Grid-Forming インバータの一種である Virtual Oscillator Control インバータの動作解析

(1) 研究概要

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急増しているが、これらの多くはインバータを介して電力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型であるため、系統に連系される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。このため、同期発電機と同様の電圧維持能力等を有する Grid Forming Inverter (以下 GFM インバータ) が注目されている。Virtual Oscillator Control インバータ (以下, VOC インバータ) は米国再生可能エネルギー研究所が提案した GFM インバータの一種であるが、その電圧発生のメカニズムが他のインバータと根本的に異なることもあり、その特性は十分には解明されていない。

本研究では、まず VOC インバータをリアクタンスを介して電力系統に連系した場合、その各種パラメータが VOC インバータの安定性や電圧特性にどのような影響を及ぼすかを解析し、そのパラメータ選定の基本的な考え方を明らかにした。また電力系統の周波数低下時に VOC インバータがどのように動作するかについてシミュレーション解析を行い、VOC インバータが慣性応答に加え周波数ドループ特性を有していることを明らかにした。

(2) 研究内容報告

系統周波数低下時における Virtual Oscillator Control インバータの動作解析

伊坂悠吾 七原俊也 雪田和人 (愛知工業大学)

2022/9/7
電気学会 電力・エネルギー部門大会

第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号: 107 伊坂悠吾 (愛知工業大学)

1/18

目次

- 研究背景と目的
- 解析回路と式の導出
- パラメータの設定
- 系統周波数低下時における解析
- まとめ

第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号: 107 伊坂悠吾 (愛知工業大学)

2/18

目次

- 研究背景と目的
- 解析回路と式の導出
- パラメータの設定
- 系統周波数低下時における解析
- まとめ

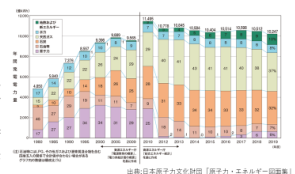
第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号: 107 伊坂悠吾 (愛知工業大学)

3/18

研究背景と目的

研究背景

- CO₂排出、資源の枯渇により火力発電の減少に伴う再エネ電源の増加
- 再エネ電源の多くはインバータ電源であるため増加すると同期発電機の数が増加し、慣性の減少・電圧維持能力の低下等が発生し、その結果系統が不安定になる可能性がある



第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号: 107 伊坂悠吾 (愛知工業大学)

4/18

研究背景と目的

従来 【Grid Following インバータ】	Grid Forming インバータ
電力系統に安定電圧があることを前提とする 電流制御型のインバータ	それ自身が電圧源となる電圧制御型のインバータ 慣性減少の改善、電圧維持能力の向上が見込める

研究対象 Grid forming inverter内のVirtual Oscillator Control(VOC)インバータ

研究内容

電力系統周波数低下時における単相のVOCの動作解析

第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号: 550194933 (愛知工業大学)

5/18

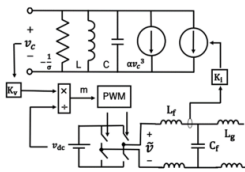
目次

- 研究背景と目的
- 解析回路と式の導出
- パラメータの設定
- 系統周波数低下時における解析
- まとめ

第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号: 107 伊坂啓吾 (愛知工業大学)

6/18

VOCインバータの構成



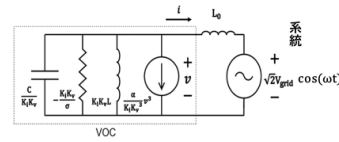
出典: Sang, V., Ding, B., Brian, B., Johnson, J., and Abdulhadi, O. Hamadeh, "Virtual Oscillator Control for Voltage Source Inverter," IEEE 15th Annual Applied Conference, Arlington House, UIUC, Illinois, USA, October 2-3, 2013.

第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号: 107 伊坂啓吾 (愛知工業大学)

7/18

上側 制御信号生成部
下側 インバータ

解析回路と式の導出



$$i = \frac{\sigma}{K_i K_v} v - \frac{\alpha}{K_i K_v} v^2 - \frac{C}{K_i K_v} \frac{dv}{dt} - \int \frac{1}{K_i K_v L} v dt \dots \textcircled{1}$$

$$v - \sqrt{2} V_{grid} \cos(\omega t) = L_g \frac{di}{dt} \dots \textcircled{2}$$

パラメータ	式
τ	$\sqrt{\frac{1}{CL} + \frac{K_i K_v}{CL_g}} t$
x	$\frac{1}{K_v} \sqrt{\frac{2\alpha}{\sigma}} v$
B	$\frac{K_i L}{L_g + K_i K_v L} \sqrt{\frac{6\alpha}{\sigma}} V_{grid}$
u	$\frac{\omega}{\sqrt{CL} + \frac{K_i K_v}{CL_g}}$
ε	$\frac{a}{\sqrt{C}} \sqrt{\frac{L_g}{L_g + K_i K_v L}}$

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

第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号: 107 伊坂啓吾 (愛知工業大学)

8/18

目次

- 研究背景と目的
- 解析回路と式の導出
- パラメータの設定
- 系統周波数低下時における解析
- まとめ

第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号: 107 伊坂啓吾 (愛知工業大学)

9/18

基本パラメータ設定

パラメータ	値	単位
定格電圧	115.5	V
定格容量	10	kVA
周波数 f	60	Hz
キャパシタンス C	4.23×10^{-2}	F
インダクタンス L	1.66×10^{-4}	H
コンダクタンス σ	1.53	S
電流源の三乗根の係数 α	1.02	A/V ³
スケーリングファクタ K_v	115.5	V/V
スケーリングファクタ K_i	1/28.9	A/A
インダクタンス L_g	0.0051	F

VOC電圧が系統電圧と同程度になるパラメータの選定

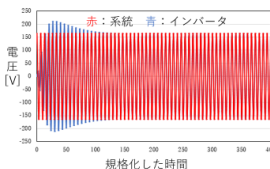
第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号: 107 伊坂啓吾 (愛知工業大学)

10/18

VOCの立ち上がりにおける解析

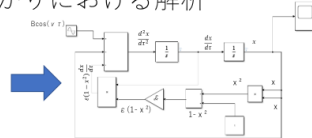
シミュレーションの式

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



第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号: 107 伊坂啓吾 (愛知工業大学)

11/18



シミュレーション結果
VOCは安定した電圧と周波数
を発生

目次

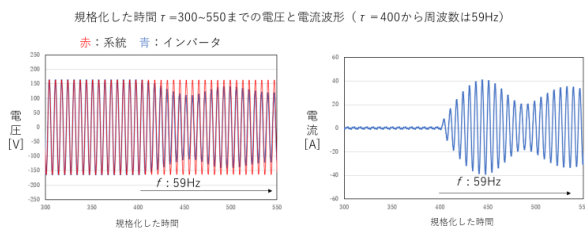
- 研究背景と目的
- 解析回路と式の導出
- パラメータの設定
- 系統周波数低下時における解析
- まとめ

第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号: 107 伊坂啓吾 (愛知工業大学)

12/18

周波数低下時の電圧と電流波形

AIT 愛知工業大学



VOC電圧波形：周波数変動後が変動

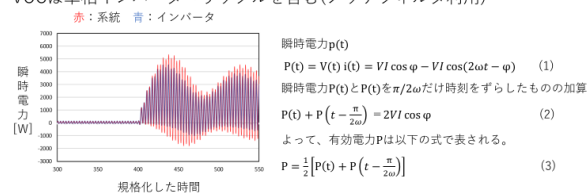
第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号：107 伊坂啓吾 (愛知工業大学)

13/18

瞬時電力の波形

AIT 愛知工業大学

VOCは単相インバータ→リップルを含む(ノッチフィルタ利用)



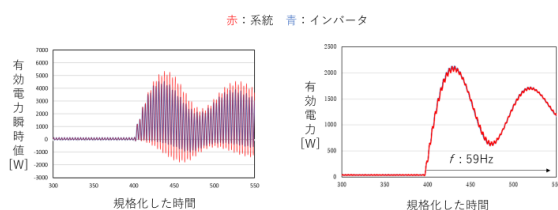
ノッチフィルタを用いてリップルを取り除く

第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号：107 伊坂啓吾 (愛知工業大学)

14/18

周波数変動時の有効電力

AIT 愛知工業大学



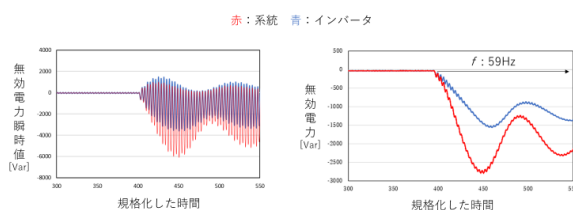
有効電力：同期発電機と同様の慣性応答を確認

第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号：107 伊坂啓吾 (愛知工業大学)

15/18

周波数変動時の無効電力

AIT 愛知工業大学



第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号：107 伊坂啓吾 (愛知工業大学)

16/18

目次

- 研究背景と目的
- 解析回路と式の導出
- パラメータの設定
- 系統周波数低下時における解析
- まとめ

第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号：107 伊坂啓吾 (愛知工業大学)

17/18

まとめ

AIT 愛知工業大学

- 発生電圧が系統電圧と同程度となり、VOCを安定に運転できるVOCパラメータを選定した。
- 単相インバータでのリップル(有効電力・無効電力)を取り除くためにノッチフィルタを利用し、リップルをほぼ完全に除去できることを示した。
- VOCの系統周波数変動時の有効電力波形より、同期発電機と同様の慣性応答が確認できた。ただし、同期発電機と違い、その時に電圧が変動することも分かった。

[今後の課題]
パラメータの違いが系統擾乱時の変動に及ぼす影響の分析。

第1会場 グリッドフォーミングインバータ II 講演番号：107 伊坂啓吾 (愛知工業大学)

18/18

(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. 電力系統の経済負荷配分制御の特性改善

(1) 研究概要

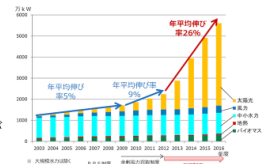
地球温暖化問題の対策として、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー（再エネ）が増加している。再エネ電源の出力は変動が著しく正確な予測が困難なため、電力システムの需給バランス維持が難しくなる恐れがある。このため、電力システムの需給制御システムのうち、変動周期十数分以上の変動を対象とする経済負荷配分制御（EDC : Economic load Dispatching Control）の重要性が増している。

本研究では、EDC 内の時定数や EDC 制御周期が EDC の制御性能、特に需給バランスに与える影響について検討した。その結果、制御周期を短くすれば性能向上が図れること、制御周期と EDC 時定数の協調が重要であることを明らかにした。またこの際には EDC と負荷周波数制御の制御分担の状況に違いが見られることも示した。さらに AGC30 の汽力発電プラントモデルを、簡略化した汽力発電プラントモデルで置き換えた簡易な AGC30 モデルを作成し、両モデルで周期数十分程度の需給変動がほぼ同様となることを明らかにした。

(2) 研究内容報告

目次	
電力系統の経済負荷配分制御の特性改善 -AGC30への火力発電の簡易モデルの組込-	
青木祥 山口麗雄 木股溪一郎 稲塚大祐 七原俊也 雪田和人（愛知工業大学）	
PSE-23-001	2/22

目次	
研究背景	
• 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	
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）が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。	
PSE-23-001	4/22

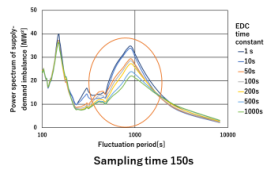


研究目的

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、使用しているモデルに火力発電の簡易モデルを組み込み、原因の分析に用いることができるか検討する。



1. 青木・七原他「電力系統の経済負荷配分制御の特性改善～制御周期が制御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)

PSE-23-001

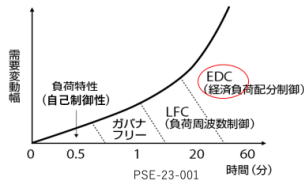
5/22

PSE-23-001

6/22

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。



PSE-23-001

7/22

PSE-23-001

8/22

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

PSE-23-001

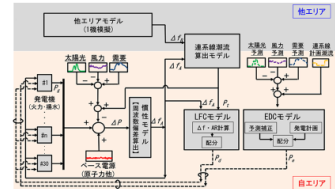
9/22

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

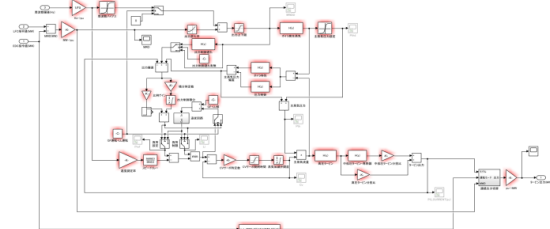


出典：電力需給解析モデル標準化調査委員会「電気学会技術報告第1385号」, 一般財団法人電気学会 (2016)

PSE-23-001

10/22

AGC30 天然ガス火力発電モデル

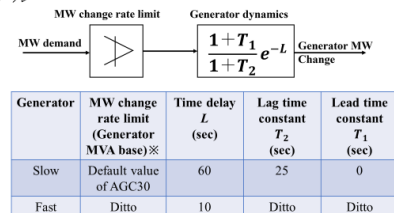


PSE-23-001

11/22

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(EuroPES 2008).

PSE-23-001

12/22

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

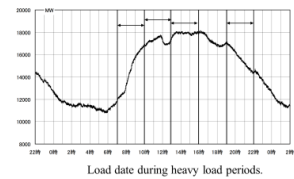
PSE-23-001

13/22

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

AGC30のEDC内の時定数と制御周期の既定値はそれぞれ200秒と300秒



PSE-23-001

14/22

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

PSE-23-001

15/22

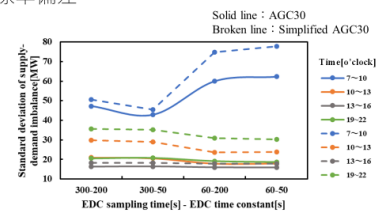
需給インバランスの標準偏差

EDCのパラメータが需給インバランスに及ぼす影響は複雑である。

時間帯によってパラメータを変化させたときの標準偏差の増減の仕方が違う



簡単に制御周期と時定数を決めることは出来ない。

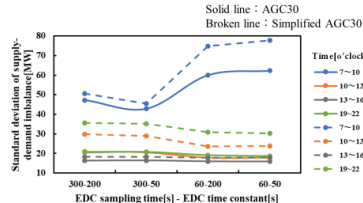


PSE-23-001

16/22

需給インバランスの標準偏差

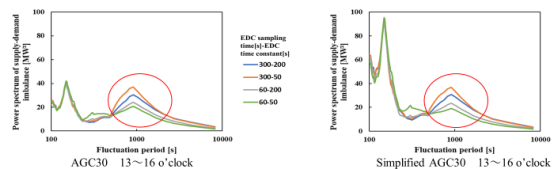
各時間帯のAGC30と簡易AGC30を比較すると、パラメータを変化させた場合の挙動については、簡易AGC30でもAGC30の挙動をある程度再現できている。



PSE-23-001

17/22

需給インバランスのパワースペクトル①13時～16時

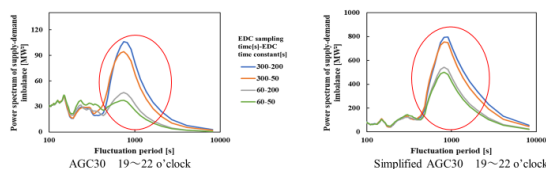


- 変動周期600秒～3000秒付近においてパワースペクトルの山が見られる
- AGC30と簡易AGC30の波形は概ね類似している

PSE-23-001

18/22

需給インバランスのパワースペクトル②19時～22時



- 変動周期600秒～3000秒付近においてパワースペクトルの山が見られる
- △ AGC30と簡易AGC30の波形の形状は概ね類似している
- × AGC30よりも簡易AGC30のパワースペクトルが大きくなっている
- × 制御周期が短いとき形状が多少異なる

負荷変動が大きいことに起因しているのではないかと推察される

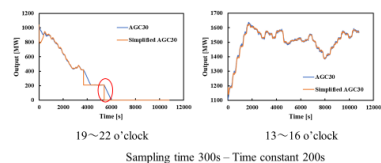
PSE-23-001

19/22

石油火力出力波形

出力の急増・急減が見られる。

発電機の始動・停止に伴うもの



パワースペクトルが増加した原因は発電機の始動・停止に伴う出力変化の模擬に課題があるからである。

PSE-23-001

20/22

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**

PSE-23-001

21/22

まとめと今後の課題

まとめ

- ・ AGC30に簡易モデルを組み込んだ簡易AGC30は発電機の始動・停止がない時間帯では、AGC30の振る舞いをある程度再現できている
- ・ 需給インバランスの抑制に向けた検討に用いることができる。

今後の課題

- ・ 簡易モデルにおける発電機の急な始動・停止の改善
- ・ 制御周期が短い場合におけるAGC30と簡易AGC30のパワースペクトルの差異の原因の解明
- ・ EDC制御における変動周期600秒～3000秒付近における変動増加の原因の究明
- ・ EDCとLFCの制御協調のあり方の分析

PSE-23-001

22/22

(3) 主な使用機器

- ・ 固定資産登録品名：パソコン，資産番号 42000841

6. LLC コンバータの活用に関する研究

(1) 研究概要

LLC 共振コンバータ（以下 LLC と記す）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。現在 LLC は電圧を変えることによって調光できる LED や照明など、小容量の 100W~500W の負荷に広く使われている。また、大容量の数 kW 程度を想定した討も広く行われている。一般的に LLC において高周波変圧器の結合係数 k は 0.8~0.9 程度設計される。結合係数 k はコアのギャップで調節することが多いが、巻き方でも調節することができる。また、駆動周波数が変化すると高周波変圧器のインダクタンス値が変化し、それに伴って共振点も変化し LLC の出力電圧も変化することが報告されている。

そこで、駆動周波数が変化しても漏れインダクタンス L_r 、励磁インダクタンス L_m の変化が小さい高周波変圧器の方が LLC に適することから、高周波変圧器の巻線の巻数を一定とし、コアのギャップ長と巻き方を変え、 L_r と L_m を実測し、 L_r 、 L_m の変化を考慮してシミュレーションした LLC の出力電圧特性を明らかにした。

(2) 研究内容報告

LLCコンバータに用いる 高周波変圧器の検討

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

研究背景と目的

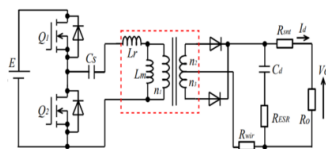
LCRメータで高周波変圧器の漏れ・励磁インダクタンスを測定

周波数によって漏れインダクタンス値と励磁インダクタンス値が変化することを確認

インダクタンス値が変化することによって出力電圧値が設計値と異なる値

LLCコンバータに使用する高周波変圧器の結合係数が0.8~0.9程度、
駆動周波数によって漏れ・励磁インダクタンスの変化が少ないような設計

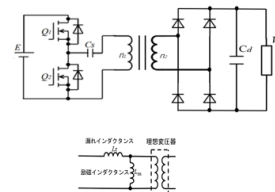
旧の主回路の構成



二つのリアクトル L_r と L_m およびコンデンサ C_s で共振回路を構成

入力電圧 E	390V
共振用コンデンサ C_s	0.027μF
漏れインダクタンス L_r @ 100kHz	80.5μH
励磁インダクタンス L_m @ 100kHz	306.6μH
巻数比 $n_1:n_2$	30:5
平滑コンデンサ C_d	990μF
等価直流抵抗 R_{DS}	12mΩ
シヤント抵抗 R_{SV}	12mΩ
配線抵抗 R_{wv}	12mΩ
ギャップ長 L_g	6mm

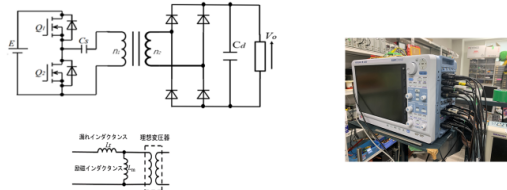
今回の主回路の構成



二つのリアクトル L_r と L_m およびコンデンサ C_s で共振回路を構成

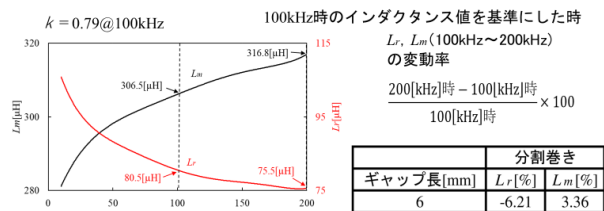
入力電圧 E	80V
共振用コンデンサ C_s	0.147μF
漏れインダクタンス L_r @ 100kHz	9.05μH
励磁インダクタンス L_m @ 100kHz	81.42μH
巻数比 $n_1:n_2$	11:11
平滑コンデンサ C_d	100μF
ギャップ長 L_g	0.1mm

測定装置



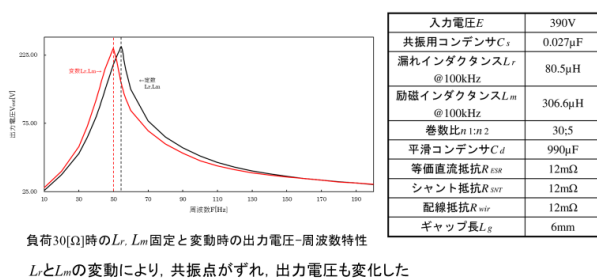
愛知工業大学エコ電力研究センターでの購入装置を使用して測定

旧変圧器の周波数特性

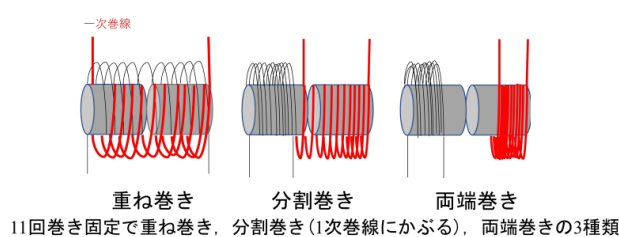


ギャップ長6mmで分割巻き L_r, L_m の周波数特性

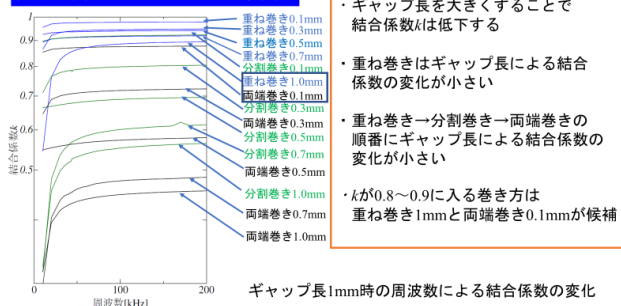
旧回路 L_r, L_m 出力電圧・周波数特性



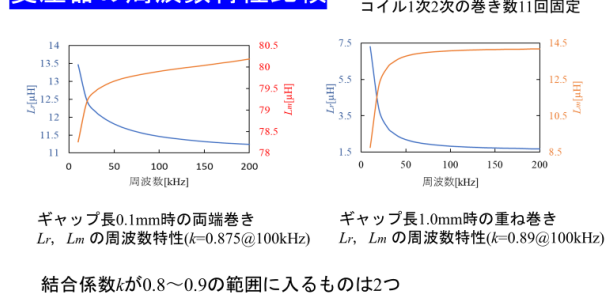
コイルの巻き方



結合係数の周波数特性



変圧器の周波数特性比較



L_r, L_m の変動率

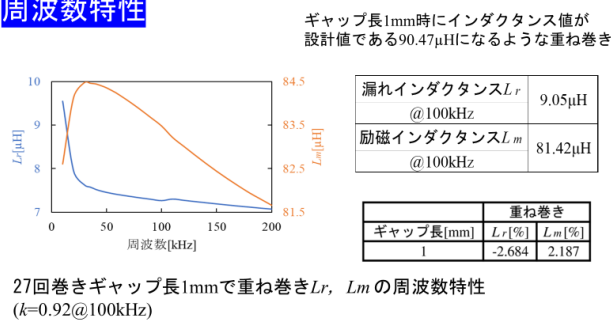
コイル1次2次の巻き数11回固定
結合係数が0.8~0.9

100kHz時のインダクタンス値を基準にした時
 L_r, L_m (100kHz~200kHz)
の変動率
 $\frac{200[\text{kHz}]時 - 100[\text{kHz}]時}{100[\text{kHz}]時} \times 100$

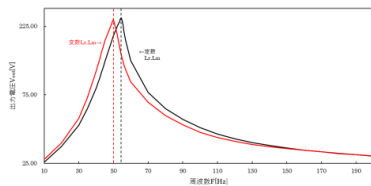
ギャップ長[mm]	両端巻き			分割巻き			重ね巻き		
	L_r [%]	L_m [%]	k	L_r [%]	L_m [%]	k	L_r [%]	L_m [%]	k
0.1	-1.938	0.26	0.875	-3.284	0.362	0.916	-5.732	0.123	0.977
0.3	-2.025	0.528	0.718	-3.234	0.410	0.799	-5.258	0.147	0.945
0.5	-1.936	0.706	0.573	-2.466	0.538	0.689	-3.361	0.054	0.939
0.7	2.054	1.022	0.477	-4.002	1.290	0.601	-6.897	0.361	0.919
1	-1.954	1.132	0.448	-3.175	1.615	0.553	-8.283	0.731	0.885

総合的に判断してギャップ長0.1mm時の両端巻きが良い

周波数特性



旧回路 L_r, L_m 出力電圧・周波数特性

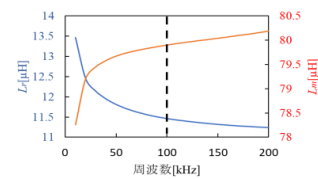


負荷30[Ω]時の L_r, L_m 固定と変動時の出力電圧-周波数特性

L_r と L_m の変動により、共振点がずれ、出力電圧も変化した

入力電圧 E	390V
共振用コンデンサ C_s	0.027μF
漏れインダクタンス L_r @100kHz	80.5μH
励磁インダクタンス L_m @100kHz	306.6μH
巻数比 $n_1:n_2$	30:5
平滑コンデンサ C_d	990μF
等価直流抵抗 R_{DSR}	12mΩ
シヤント抵抗 R_{DSR}	12mΩ
配線抵抗 R_{wir}	12mΩ
ギャップ長 L_g	6mm

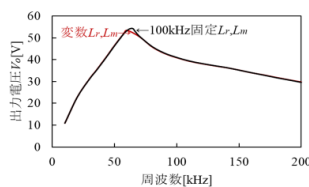
今回決定した変圧器の周波数



100kHz時
結合係数 0.875
 L 値 91.359μH
 L_r 11.458μH
 L_m 79.901μH
変動率 L_r -1.938%
変動率 L_m 0.26%

ギャップ長0.1mm時の両端巻き L_r, L_m の周波数特性

今回決定した L_r, L_m 出力電圧・周波数特性



出力電圧40V、出力電流2Aの
出力電力80Wで設計

負荷20[Ω]時の L_r, L_m 固定と変動時の出力電圧-周波数特性

まとめ

- ・ギャップ長と巻き方を変えて、駆動周波数を変化させても漏れ・励磁インダクタンスの変動が少なく、結合係数が0.8～0.9に収まるようなLLCに適切な高周波変圧器について検討を行った
- ・11回巻きの場合、ギャップ長0.1mm、両端巻きがLLC用の高周波変圧器に適する
- ・高周波変圧器のインダクタンス特性とLLCの出力電圧の周波数特性を明らかにした
- ・今後LLCのミニモデルに今回設計した高周波変圧器を組み込んで測定する予定

(3) 主な使用機器

- ・固定資産登録品名：高速 100MS/s 12 ビット絶縁モジュール、資産番号 42000841

7 分散施設近傍への落雷発生時の雷サージ侵入状況に関する研究

(1) 研究概要

近年、電化製品では小型化、高密度低電圧駆動化により耐電圧性能が相対的に脆弱している。また、ICTの発達により多くの機器がネットワークで繋がっているため、雷サージの影響を受けやすくなっている。適切な対策を行うには、落雷発生時の設備機器への雷サージ侵入状況やその影響を把握する必要がある。そこで、本研究では、愛知工業大学を対象に分散施設近傍への落雷発生時の雷サージ侵入状況について観測を実施し、落雷発生時における雷サージ侵入状況について調査検討を行った。

雷サージの観測は、具体的には、クランプオンプローブとメモリハイコーダ(トリガレベル 1A)を用いた雷サージの電流波形の観測記録と雷サージカウンタ(トリガレベル 10A)を用いた雷サージの回数記録を行った。設置箇所は警備室の火災警報盤、鉦徳館の電力計測リモート盤・火災受信盤、8号館の接地端子盤、電気室の外灯盤・警報盤である。

侵入雷サージの観測は、2022年度は、6月から10月までの5ヶ月間観測を実施した。メモリハイコーダを用いた観測では合計6日間において電流波形を記録した。記録された電流波形は気象庁の天候記録で照合した結果、落雷によって記録された可能性が高いと考えたのは4日間あった。そのため、気象情報会社から本学付近の詳細な落雷データを入手し、学内の記録波形と合わせて調査検討を行った。気象情報データを入手し確認したところ観測期間中の計4日間で402件の雷撃が確認されており、観測対象とした本学の時計台から3km以内での落雷は全体の49%を占めていた。しかし、2022年度は学内設備の被害は確認されなかった。観測結果から雷サージ侵入時の雷撃電流の大きさと落雷地点間までの距離の関係について調査検討したところ、雷サージに侵入のあった雷撃は近似値から少し離れているが、多くは3km以内であった。また、今回、今回検討対象とした雷撃は多くが40kA以下であった。

今回の観測によって、学内設備に雷被害がなくても雷サージは侵入していることが判明し、また、本学から3km離れた落雷は学内設備に影響を及ぼす可能性が少ないとわかった。今後は適切な電気設備、機器の雷策を行えるように、今回の結果を踏まえ、適切なリスク評価を今後検討する予定である。

(2) 研究内容報告

分散施設近傍への落雷発生時の 雷サージ侵入状況に関する研究



1.1 研究背景

落雷による被害件数及び損害保険の支払額は年々増加している。

被害増加要因

- ・ 電化製品の小型化により耐電圧性能が相対的に低くなる。
- ・ ICTの発達により雷サージ侵入経路の増加。

落雷発生時の設備機器への雷サージ侵入状況を把握する必要がある

1.2 研究概要

- ・ 分散施設として愛知工業大学を利用し、2022年度、学内への雷サージ電流の侵入状況を観測
- ・ 気象データ（落雷データ）と侵入雷観測データとを照合、検討し、侵入雷サージの様相について検討

2.1 観測装置の設置場所



観測装置の設置場所

2.2 雷サージ記録計と雷サージカウンタの設置状況

場所	雷サージ電流記録計	雷サージカウンタ
警備室	警報盤の信号線	警報盤の接地線
鉦徳館	火災警報盤の信号線	電力計測リモート盤の接地線
8号館	接地端子盤の接地線	
電気室	警報盤の信号線 警報盤分配器収容盤の通信線	電力計測マスタ盤の電力線 街灯盤の電力線

3.1 2022年の雷サージ電流観測結果

観測期間(2022年6月～10月)

- ・ 記録計に波形観測（計6日間）
- ・ こん年度は学内設備に被害なし

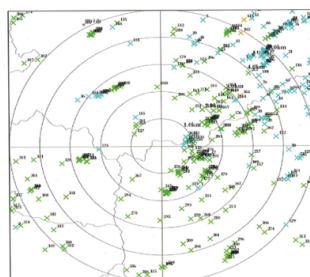
2022年度の侵入雷サージ電流の観測記録状況

7月6日	26個の波形を記録
7月27日	3個の波形を記録
8月10日	1個の波形を記録
8月18日	1個の波形を記録
8月25日	30個の波形を記録
8月28日	1個の波形を記録

3.2 気象観測に基づく落雷状況

2022年
7月6日17時～19時

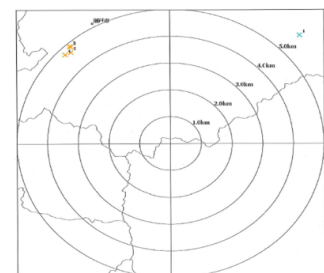
愛知工業大学近傍では、
281件の落雷が気象観測
で確認されていた。



愛知工業大学の時計台を中心に半径5kmの領域における
落雷状況（2022年7月6日17時～19時）

2022年
7月27日0時～3時

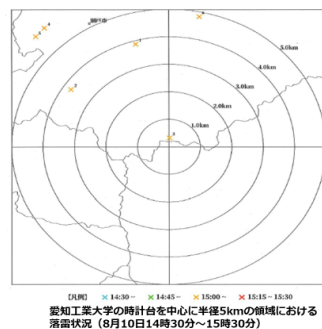
愛知工業大学近傍では、
4件の落雷が気象観測で
確認されていた。



愛知工業大学の時計台を中心に半径5kmの領域における
落雷状況（7月27日0時～3時）

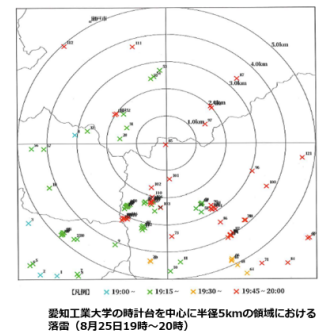
2022年
8月10日14時30分
～15時30分

愛知工業大学近傍では、
4件の落雷が気象観測で
確認されていた。

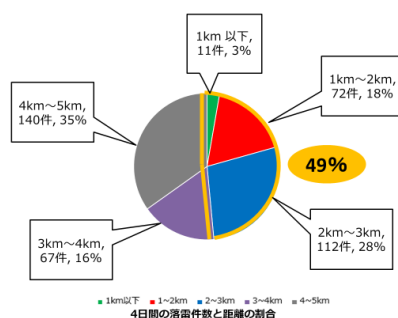


2022年
8月25日19時～20時

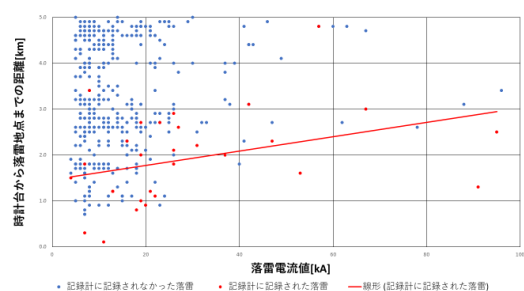
愛知工業大学近傍では、
113件の落雷が気象観測
で確認されていた。



・4日間の落雷件数と距離の割合



3.3 落雷電流および落雷距離と侵入雷サージの関係



3.4 観測結果の検討とまとめ

- ・今回雷サージの侵入があった雷撃の多くは3km以内の落雷であった。
- ・今回検討対象とした雷撃は多くが40kA以下であった。
- ・適切な電気設備、機器の雷策を行えるように、今回の結果を踏まえ、適切なリスク評価を今後検討する予定である。

(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：41500441

8 北陸地域の U 風力発電所における長期落雷観測結果にもとづく冬季の落雷予測に向けての気象要因と落雷の関係性についての研究

(1) 研究概要

近年再生可能エネルギーの需要が高まり風力発電が注目されている。日本海沿岸部は冬季に良好な季節風が吹くため風力発電設備の設置が多い。一方この地域は冬季雷が多く、それによる風車への被害が多発している。そこで、本研究では風力発電設備の落雷による被害を予防するために落雷予測に着目し、北陸地域の U 風力発電所における 2007 年度から 2021 年度までの 15 年間の落雷観測結果を基に気象要因と落雷の関係性に調査研究を行った。

北陸地域の U 風力発電所は日本海沿岸に位置し、1 基の風車と避雷塔で構成されている。風車の最高地上高さは 100.25 m、避雷塔の地上高さは 104.99 m であり、避雷塔は風車から見て北西 45.5 m の地点にある。そして風車と避雷塔で落雷電流を観測記録している。

雷雲内の電荷分布においては、今までの研究より -30℃温度層付近の高層に主に氷晶になわれた正電荷が存在し、-20℃温度付近から下層には -10℃温度層付近を中心に霰になわれた負電荷層が存在することが報告されている。そこで本研究では、-10℃温度層の高度(ジオポテンシャル高度)に着目し、この高度と北陸地域にある U 風力発電所への落雷との関係について検討した。

U 風力発電所での落雷観測が開始されてからの過去 15 年間の雨天時の -10℃温度層のジオポテンシャル高度の頻度は 2000m から 2500m が多く分布するが最低 1230m から最大 5694m までまばらにあることが判明した。そして、雷を伴う雨天時の -10℃温度層のジオポテンシャル高度は 1500m から 2500m までに多く見られるが 2500m を超えると大きく減少していることが判明した。

直近 5 年間の降雪時の場合においても調べた結果降雪のみの場合 -10℃温度層のジオポテンシャル高度は 1000m から 1500m に多いが、落雷を伴う降雪時のそれは 2000m から 2500m に多くあることが判明した。

15 年間の北陸地域の U 風力発電所での落雷観測データを使用し、15 年間の雨天時と直近 5 年間の降雪時の -10℃温度層のジオポテンシャル高度に着目し、気象要因と落雷の関係性について調査検討を行った結果、雨天時と雷を伴う雨天、降雪時と落雷を伴う降雪とによって -10℃温度層ジオポテンシャル高度に差があることが確認できた。このことから、-10℃温度層の高度(ジオポテンシャル高度)に関するパラメータが落雷予測技術、落雷リスク評価の要素として機能する可能性を明らかにできた。また、落雷予測技術の確立、落雷リスク評価にはほかの要素も関係しており、どのような要素がそれらに大きく影響を及ぼしているかを把握することが今後の課題と考える。

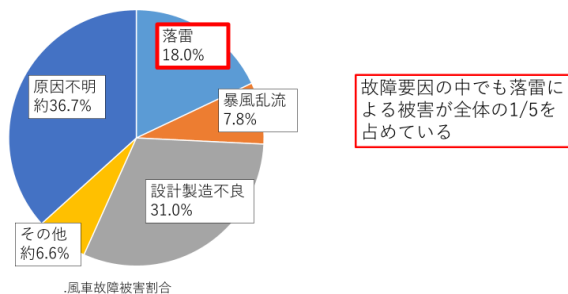
(2) 研究内容報告

北陸地域のU風力発電所における長期落雷観測結果にもとづく冬季の落雷予測に向けての気象要因と落雷の関係性についての研究

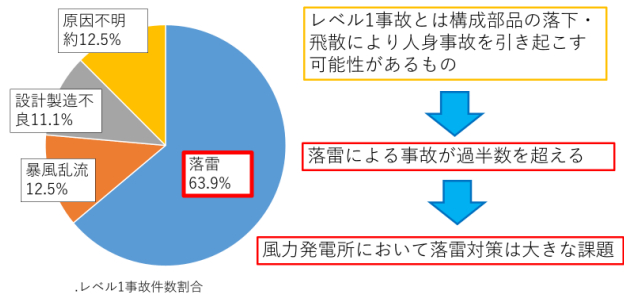
1-1. 研究背景

- 落雷により建造物に被害が増えている。中でも冬季雷によって日本海側の風車には様々な事故が発生している。
- 一般に、日本海沿岸の冬季雷は大陸からの冷たい季節風によって海上に雲が発生する、発生した雲が気流に乗って日本海を横断する際に、冷たい季節風と本州沿岸を流れる暖流との温度差によって発生した水蒸気を含むことで、低空に雷雲が形成される、とされている。
- 冬季雷の特徴は、①放電時間が長く、エネルギーが非常に大きい、②雷雲の雲底が非常に低く、高い構造物から上向き放電がよく起こり、高構造物へ落雷が集中しやすいことである。
- 冬季雷による風力発電施設の雷被害が多くあり、適切な対策が求められている。

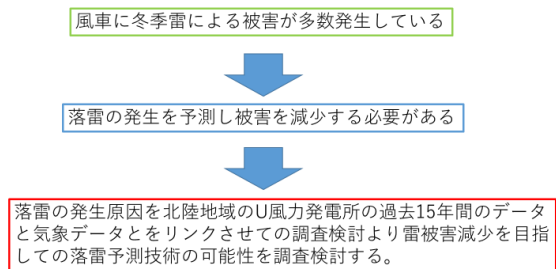
1-2. 風車の故障被害状況



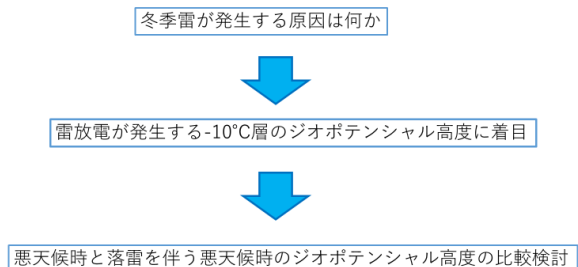
レベル1事故件数の割合



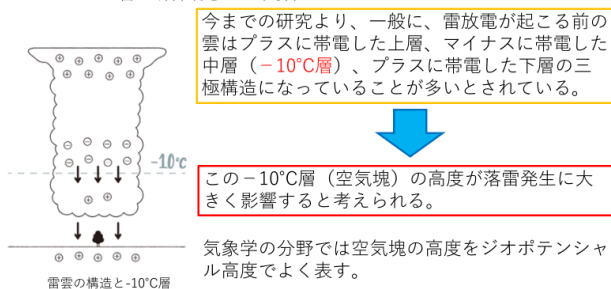
1-3. 本研究の目的



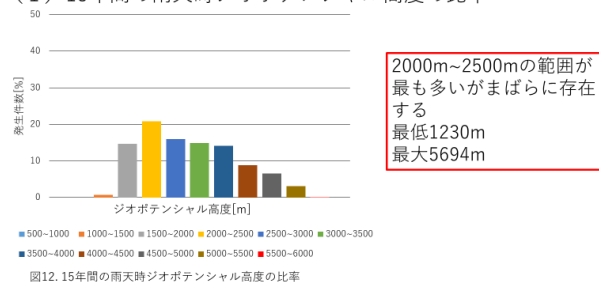
2-1. 落雷発生予測に関する調査検討方法



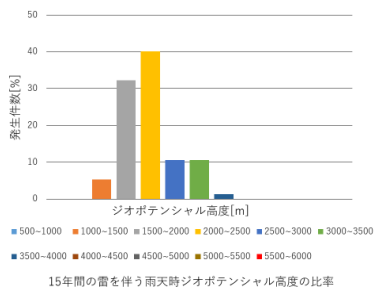
2-2. -10℃層と落雷発生について



3-1. 各気象状況でのジオポテンシャル高度について (1) 15年間の雨天時ジオポテンシャル高度の比率

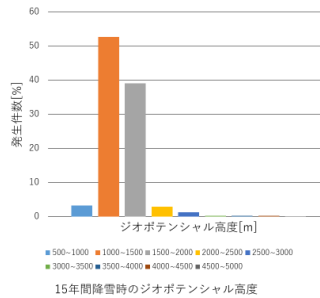


(2) 15年間の雷を伴う雨天時ジオポテンシャル高度の比率



2000m~2500mに
集中している。
最低1173m
最高3605m

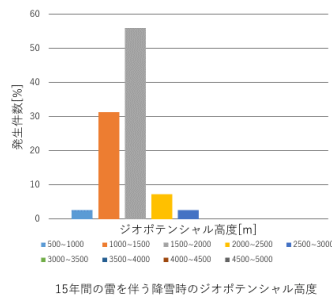
(3) 15年間降雪時のジオポテンシャル高度



1000m~1500mの範囲が
最も多い
最低676m
最高4342m

降雪時はジオポテンシャル
高度が低い

(4) 15年間の雷を伴う降雪時のジオポテンシャル高度



1500mから2000mに集
中している。
最低887m
最大2684m

3-2. ジオポテンシャル高度に着目しての調査結果

落雷の発生とジオポテンシャル高度には関係性がある程度ある

- ・雨天時は2500m以上のジオポテンシャル高度もまばらに存在している
- ・雷を伴う雨天時は2500m以上のジオポテンシャル高度が極端に低下している

ジオポテンシャル高度が低い際に落雷は発生しやすいようである。

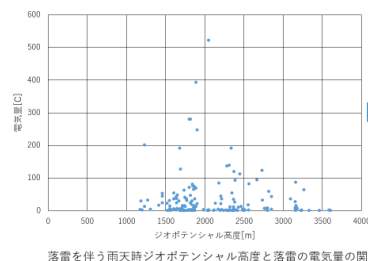
3-3. ジオポテンシャル高度と落雷規模の関係は？

ジオポテンシャル高度と落雷発生には関係性がある

ジオポテンシャル高度と落雷の電気量に関係性があるのか

落雷の電気量とジオポテンシャル高度の関係性検討する

3-4. 落雷を伴う雨天時ジオポテンシャル高度と落雷の電気量の関係



ジオポテンシャル高度の
大きさと落雷の電気量の
大きさには関係性は見ら
れない

ジオポテンシャル高度と落雷の電気量と落雷発生件数の関係性

ジオポテンシャル高度と落雷の電気量には関係性がないようにみられた

雷を伴う雨天のデータの15年間で5年間に分けた時に直近5年の雷を
伴う雨天のデータが極端に少なかったため、件数に着目した

落雷発生件数とジオポテンシャル高度の関係性を検討する

4. まとめと今後の課題

・落雷の発生原因を北陸地域のU風力発電所の過去15年間のデータと気象データとをリンクさせて冬季雷とジオポテンシャル高度の関係性の検討を行った。その結果、落雷の発生とジオポテンシャル高度には関係性がある程度あることが判明した。

・一方、ジオポテンシャル高度の大きさと落雷の電気量の大きさには関係性は見られなかった。

・ジオポテンシャル高度のパラメータは落雷予測技術の一要素として機能する可能性があると考えられるが、さらなる予測に関係する要素の調査検討が必要である

(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 41500441

9. エネルギーマネジメントのための電力需要に関する一検討

(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、脱炭素社会の実現に向けて再生可能エネルギーが国内外で注目され、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極めて不安定であり、集中型電源による需給調整や火力発電所の調整に加えて、需要家における電力需要の調整が必要とされている。需要家の電力に関してはエネルギーマネジメントシステム(EMS)を用いたシステム開発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。

本研究では、この中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(DR)に着眼点をおいた。DR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。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に注目し、空調機器の消費電力量と外気温の関係性についての検討結果としては、外気温 17℃付近において消費電力量の特性に変化が見られることが確認できた。また、空調機器の消費電力量と外気温には強い相関性があることも確認できた。

(2) 研究内容報告

AIT 愛知工業大学

エネルギーマネジメントのための
電力需要に関する一検討

1. 研究背景・研究目的

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。

脱炭素社会に向けた再生可能エネルギーの拡大

問題点

◆ 天候などの自然的要因に左右されることによる発電量の不安定さ

解決策

◆ 需要家側での電力需要調整

火力発電
集中型電源

安定供給
+
需給調整

不安定な供給

再生可能エネルギー
エネルギーマネジメントの活用

◆ 地域・建物レベル

◆ 電力の見える化

Building Energy Management System(BEMS)
を用いたシステム開発

需要家

AIT 愛知工業大学

目次

1. 研究背景・研究目的

2. 研究対象施設について

3. 対象とするデータ

4. 外気温と消費電力量の関係

5. 空調機器の消費電力量に関する検討

6. 空調機器の消費電力量に関する検討結果

6.1. 外気温に対する消費電力量の関係(全外気温)

6.2. 外気温に対する消費電力量の関係(17.3℃以上)

6.3. 外気温に対する消費電力量の関係(17.3℃以下)

7. まとめ

1. 研究背景・研究目的

需要家側での電力需要制御の方法

◆ 需要家側での電力需要制御の方法として、ピークカット、ピークシフト、ボトムアップが期待されている。

本検討では、ピークカットに着目し、その手段として、電力の無駄を省き制御を行うデマンドレスポンスに注目

ピークカット

ピークシフト

ボトムアップ

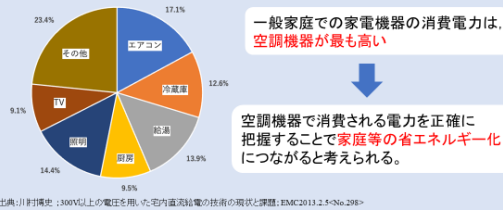
需要家における電力消費の特性を正確に把握する必要がある

1. 研究背景・研究目的

AIT 愛知工業大学

ゼロカーボン社会の実現のために、家庭や企業での消費電力を抑える省エネルギー化が求められている。

■ 一般家庭での家電機器の消費電力の割合



そこで、本研究では空調機器に着目して検討を行っている。

5

2. 研究対象について

AIT 愛知工業大学

研究対象施設概要

- ◆ 研究対象施設は8階建て（地下2階、地上6階）の構成
- ◆ 地上階は電動式ヒートポンプエアコン（EHP）、地下階はガスヒートポンプエアコン（GHP）を使用
- ◆ 延床面積：8699[m²]
- ◆ 受電変圧容量：1000[kVA]

→ **コンセント系統、照明系統、空調機器系統**
それぞれの電力データの計測・収集が実施されている



講義研究棟外観



データ収集管理用PC



計測・収集データの見える化

7

3. 対象とするデータ

AIT 愛知工業大学

検討対象とするデータ概要

- ◆ 講義研究棟の4階から6階の1日ごとの消費電力データを使用
- ◆ 外気温データは気象庁公開の「過去の気象データ検索」より講義研究棟がある地点の1日ごとの平均気温を抽出し使用
- ◆ 検討期間：2019年の1月から12月の1年間、土曜日と日曜日の除外



講義研究棟外観



検討対象地点

9

4. 外気温と消費電力量の関係

AIT 愛知工業大学

外気温に対する消費電力量の関係（17.3℃以上・以下）

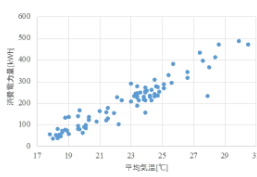
- ◆ 相関係数は下記の(1)式より求めた。

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

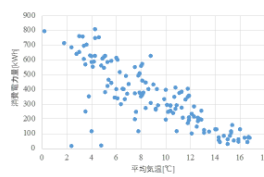
n: 2変数のデータ(x, y) 総数, x_i, y_i : x, yそれぞれの個々の数値, $\bar{x}$: xの平均値, $\bar{y}$: yの平均値

外気温と消費電力量の相関係数

17.3℃以上: 0.9470 (正の相関)
17.3℃以下: -0.7996 (負の相関)



外気温に対する消費電力量の関係
(17.3℃以上)



外気温に対する消費電力量の関係
(17.3℃以下)

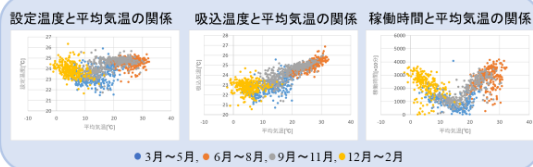
11

1. 研究背景・研究目的

AIT 愛知工業大学

これまでの検討事項

- ✓ 空調機器の消費電力に影響を与える要素（設定温度、吸込温度、稼働時間）についての検討
- ✓ COVID-19前とCOVID-19禍での換気の違いによる空調機器の消費電力の変化に関する検討



上図に示すような関係性が見られた

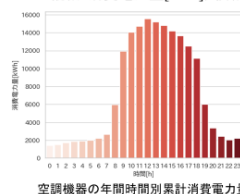
6

2. 研究対象について

AIT 愛知工業大学

講義研究棟における電力消費

- ◆ 講義研究棟全体における1年間の時間別消費電力量のグラフ化
縦軸: 消費電力量[kWh], 横軸: 時間[h]

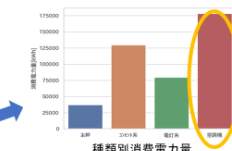


空調機器の年間時間別累計消費電力量

消費電力量は8時から増加傾向を示す
12時には最大の消費電力量を示す
13時から減少傾向を示し、
20時には7時の消費電力量に近い値

講義研究棟における電力消費の内訳

建物内において**空調機器の消費電力量が最も大きい**



種類別消費電力量

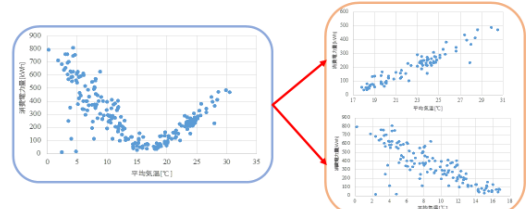
8

4. 外気温と消費電力量の関係

AIT 愛知工業大学

外気温に対する消費電力量の関係

- ◆ 外気温に対する消費電力量の関係をグラフ化
縦軸: 消費電力量[kWh], 横軸: 外気温[℃]
- ◆ 外気温に対して、空調機器の消費電力量は**二次曲線状の変化**



17.3℃以上・以下に分け、外気温と消費電力量の関係を検討

10

5. 空調機器の消費電力量に関する検討

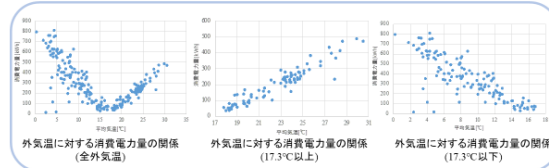
AIT 愛知工業大学

検討概要

- ◆ 外気温と消費電力量間に一定の相関関係を確認

→ 外気温が消費電力量に対してどの程度影響を与えているのかについて回帰分析により検討

- ◆ 目的変数を消費電力量、説明変数を外気温
- ◆ 全外気温に関する検討では、説明変数に外気温の2乗値を追加



上図のそれぞれの場合について検討を実施

12

6. 空調機器の消費電力量に関する検討結果 AIT 愛知工業大学

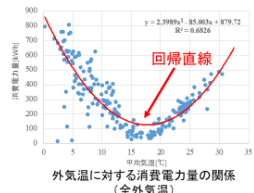
6.1. 外気温に対する消費電力量の関係(全外気温)

- ◆ 外気温に対する消費電力量の関係をグラフ化
縦軸:消費電力量[kWh], 横軸:外気温[°C]

分析より得られた回帰式

$$y = 2.3989x^2 - 85.003x + 879.72 \quad (2)$$

y:消費電力量[kWh], x:外気温[°C]



回帰式への適合度(全外気温)

決定係数	0.68
P値 (x^2)	4.98×10^{-40}
P値 (x)	2.57×10^{-48}
t値 (x^2)	16.472
t値 (x)	-19.110

本検討では、P値を有意水準5%、t値を2.0として評価

- 説明変数により目的変数を約68%説明できていると確認
- 説明変数の係数は有意であると確認
- 説明変数は目的変数に対して影響を与えていると判断できる。

13

6. 空調機器の消費電力量に関する検討結果 AIT 愛知工業大学

6.2. 外気温に対する消費電力量の関係(17.3°C以上)

- ◆ 外気温17.3°C以上に対する消費電力量の関係をグラフ化
縦軸:消費電力量[kWh], 横軸:外気温[°C]

分析より得られた回帰式

$$y = 34.171x - 570.52 \quad (3)$$

y:消費電力量[kWh], x:外気温[°C]



外気温と消費電力量の相関係数
相関係数:0.9470(正の相関)

回帰式への適合度(17.3°C以上)

決定係数	0.90
P値 (x)	1.02×10^{-41}
t値 (x)	26.543

本検討では、P値を有意水準5%、t値を2.0として評価

- 説明変数により目的変数を約90%説明できていると確認
- 説明変数の係数は有意であると確認
- 説明変数は目的変数に対して影響を与えていると判断できる。

14

6. 空調機器の消費電力量に関する検討結果 AIT 愛知工業大学

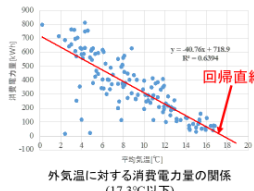
6.3. 外気温に対する消費電力量の関係(17.3°C以下)

- ◆ 外気温17.3°C以下に対する消費電力量の関係をグラフ化
縦軸:消費電力量[kWh], 横軸:外気温[°C]

分析より得られた回帰式

$$y = -40.76x + 718.9 \quad (4)$$

y:消費電力量[kWh], x:外気温[°C]



外気温と消費電力量の相関係数
相関係数:-0.7996(負の相関)

回帰式への適合度(17.3°C以下)

決定係数	0.64
P値 (x)	1.80×10^{-21}
t値 (x)	-15.414

本検討では、P値を有意水準5%、t値を2.0として評価

- 説明変数により目的変数を約64%説明できていると確認
- 説明変数の係数は有意であると確認
- 説明変数は目的変数に対して影響を与えていると判断できる。

15

7. まとめ AIT 愛知工業大学

検討概要

- 外気温と空調機器の消費電力量について相関係数より検討
- 一定の相関が見られたことから、回帰分析により外気温が空調機器の消費電力量にどの程度影響を与えているのかについて検討

検討結果

- 外気温と空調機器の消費電力量に関して高い相関があることが確認できた。
- 回帰分析により、外気温が空調機器の消費電力量に対してどの程度影響を与えているのかについて確認できた。

今後の予定

- 空調機器の電力消費に関してモデルを作成し、空調機器の消費電力に関して予測を実施する予定である。

16

(3) 主な使用機器

- ・ 固定資産登録品名：クランプオンプローブ，資産番号：42001090
- ・ 固定資産登録品名：電源品質アナライザセット PQ3198-92，資産番号：42001092

10. 回帰分析を用いた空調機器に関する消費電力量の考察

(1) 研究概要

近年、エネルギーの安定供給、ゼロカーボン社会の実現のために、電気エネルギー分野では省エネルギー化が求められている。省エネルギー化のためには電気エネルギーを有効に利用する必要があり、そのための技術の一つとしてエネルギーマネジメントシステム（EMS）が注目されている。本研究では、家庭やオフィスなどにおいてエネルギー消費が大きいと予想される空調機器に注目し、空調機器の消費電力量に関して分析を行った。具体的には、空調機器の消費電力量を季節（12月～2月、3月～5月、6月～7月、9月～11月）ごとに分類し、外気温に対する消費電力量の変化について回帰分析を用いて回帰方程式を導出。導出した方程式に外気温を与えることにより予測値を求め、実測値との比較を行った。

検討の結果として、12月～2月、3月～5月、6月～7月では消費電力量は外気温に対して直線上に分布、9月～11月では二次曲線状に分布していることが確認でき、季節ごとの外気温に対する消費電力量の変化を確認できた。また、実測値と予測値の比較では実測値と予測値の重なりが見られ、外気温の変化に対して概ね同様の変化、特徴を捉えていることが確認できた。

(2) 研究内容報告

回帰分析を用いた空調機器に関する消費電力量の考察

目次

- 1. 研究背景・研究目的
- 2. 研究対象について
- 3. 検討方法
- 4. 検討結果
 - 4.1. 外気温と消費電力量の関係
 - 4.2. 12月から2月の検討結果
 - 4.3. 3月から5月の検討結果
 - 4.4. 6月から7月の検討結果
 - 4.5. 9月から11月の検討結果
- 5. まとめ

1. 研究背景・研究目的

近年、ゼロカーボン社会の実現のために、家庭や企業での消費電力を抑える省エネルギー化が求められている。

■ 一般家庭での家電機器の消費電力の割合

家電機器	割合
エアコン	23.4%
冷蔵庫	17.3%
給湯	12.8%
照明	13.9%
洗濯機	9.5%
テレビ	14.4%
その他	9.1%

一般家庭での家電機器の消費電力は、**空調機器が最も高い**

空調機器で消費される電力を正確に把握することで**家庭の省エネルギー化**につながると考えられる。

出典：川村博史「300V以上の電圧を用いた屋内直流給電の技術と課題」EMC2013.2.5<No.298>

そこで、本研究では空調機器に着目して検討を行っている。

1. 研究背景・研究目的

■ これまでの検討事項

- ✓ 空調機器の消費電力に影響を与える要素（設定温度、吸込温度、稼働時間）についての検討
- ✓ COVID-19前とCOVID-19禍での換気の違いによる空調機器の消費電力の変化に関する検討

設定温度と平均気温の関係 吸込温度と平均気温の関係 稼働時間と平均気温の関係

● 3月～5月 ● 6月～8月 ● 9月～11月 ● 12月～2月

上図に示すような関係性が見られた

2. 研究対象について

研究対象施設概要

- ◆ 研究対象施設は8階建て(地下2階、地上6階)の構成
- ◆ 地上階は電動式ヒートポンプエアコン(EHP)、地階はガスヒートポンプエアコン(GHP)を使用
- ◆ 延床面積: 8699[m²]
- ◆ 受電変圧容量: 1000[kVA]

コンセント系統、照明系統、空調機器系統
それぞれの電力データの計測・収集が実施されている



講義研究棟外観



データ収集管理用PC



計測・収集データの見える化

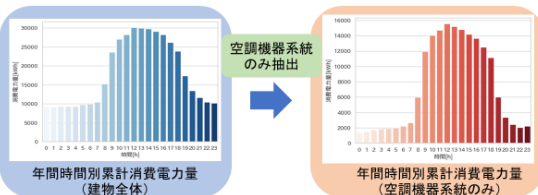
AIT 愛知工業大学

3

2. 研究対象について

講義研究棟における電力消費

- ◆ 建物全体の年間累計消費電力量から空調機器系統のみを抽出しグラフ化
縦軸: 消費電力量[kWh]、横軸: 時間[h]



消費電力量の変化は同様の傾向を示している。

講義研究棟の空調機器のみを対象として検討を行った。

AIT 愛知工業大学

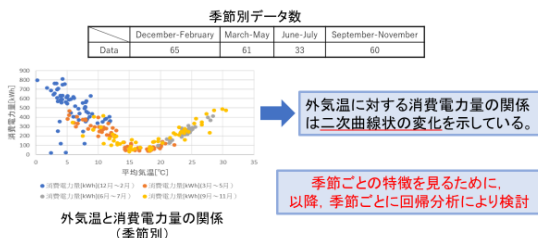
5

4. 検討結果

4.1. 外気温と消費電力量の関係検討結果

- ◆ 各季節ごとの外気温に対する消費電力量の関係性を同一グラフ化
縦軸: 消費電力量[kWh]、横軸: 外気温[°C]

- 消費電力量[kWh](12月~2月) ● 消費電力量[kWh](3月~5月)
- 消費電力量[kWh](6月~7月) ● 消費電力量[kWh](9月~11月)



外気温に対する消費電力量の関係は二次曲線状の変化を示している。

季節ごとの特徴を見るために、以降、季節ごとに回帰分析により検討

AIT 愛知工業大学

7

4. 検討結果

4.2. 12月から2月の検討結果

- ◆ 分析により得られた回帰式に外気温データを与えることにより予測値を算出し、実測値と比較
縦軸: 消費電力量[kWh]、横軸: 外気温[°C]

分析より得られた回帰式

$$y = 28.892x + 679.41 \quad (1)$$

y: 消費電力量[kWh], x: 外気温[°C]



実測値と予測値(12月から2月)

回帰式への適合度

決定係数	0.191
P値	2.74×10^{-4}
t値	-3.855

- 実測値の変化に対して予測値の変化は類似している。
- 実測値と予測値の残差が大きい箇所も確認できた。
- 残差は数十[kWh]~数百[kWh]程度

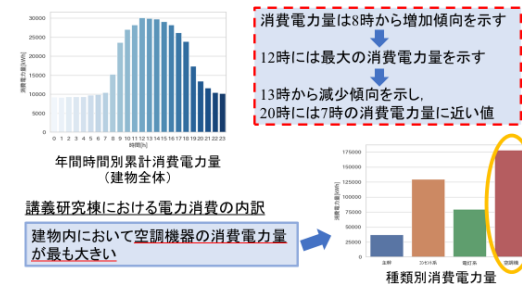
AIT 愛知工業大学

9

2. 研究対象について

講義研究棟における電力消費

- ◆ 講義研究棟全体における1年間の時間別消費電力量のグラフ化
縦軸: 消費電力量[kWh]、横軸: 時間[h]



講義研究棟における電力消費の内訳

- ◆ 建物内において空調機器の消費電力量が最も大きい

種類別消費電力量

AIT 愛知工業大学

4

3. 検討方法

検討方法概要

- ◆ 外気温と空調機器の消費電力量の関係について回帰分析により検討を行った。

- ◆ 講義研究棟の4階から6階の1日ごとの消費電力データを使用
- ◆ 外気温データは気象庁の「過去の気象データ検索」より1日ごとの平均気温を抽出し使用
- ◆ 検討期間: 2019年の1月から12月の1年間、土曜日と日曜日の除外
- ◆ 外気温は季節ごとに異なることを考慮し、季節ごとに分析

季節の割り当て: 12月~2月, 3月~5月, 6月~7月, 9月~11月
8月はデータ欠如

回帰分析による季節ごとの外気温と空調機器の消費電力量の関係について検討を行った。

AIT 愛知工業大学

6

4. 検討結果

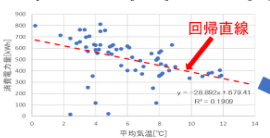
4.2. 12月から2月の検討結果

- ◆ 12月から2月の外気温に対する消費電力量の関係性をグラフ化
縦軸: 消費電力量[kWh]、横軸: 外気温[°C]

分析より得られた回帰式

$$y = 28.892x + 679.41 \quad (1)$$

y: 消費電力量[kWh], x: 外気温[°C]



外気温に対する消費電力量の関係 (12月から2月)

外気温と消費電力量の相関係数
相関係数: -0.436 (負の相関)

回帰式への適合度

決定係数	0.191
P値	2.74×10^{-4}
t値	-3.855

- 右肩下がりの直線の変化を示している。
- 外気温0[°C]付近~12[°C]付近(消費電力量: 400[kWh]~800[kWh])に分布が見られる。

AIT 愛知工業大学

8

4. 検討結果

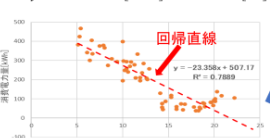
4.3. 3月から5月の検討結果

- ◆ 3月から5月の外気温に対する消費電力量の関係性をグラフ化
縦軸: 消費電力量[kWh]、横軸: 外気温[°C]

分析より得られた回帰式

$$y = -23.358x + 507.17 \quad (2)$$

y: 消費電力量[kWh], x: 外気温[°C]



外気温に対する消費電力量の関係 (3月から5月)

外気温と消費電力量の相関係数
相関係数: -0.888 (負の相関)

回帰式への適合度

決定係数	0.789
P値	1.36×10^{-21}
t値	-14.851

- 右肩下がりの直線の変化を示している。
- 外気温5[°C]~22[°C]付近(消費電力量: 数十[kWh]~400数十[kWh])分布が見られる。

AIT 愛知工業大学

10

4. 検討結果

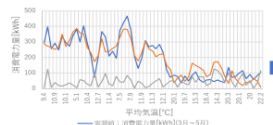
4.3. 3月から5月の検討結果

- ◆ 分析により得られた回帰式に外気温データを与えることにより
予測値を算出し、実測値と比較
縦軸:消費電力量[kWh], 横軸:外気温[°C]

分析より得られた回帰式

$$y = -23.358x + 507.17 \quad (2)$$

y:消費電力量[kWh], x:外気温[°C]



実測値と予測値(3月から5月)

回帰式への適合度

決定係数	0.789
P値	1.36×10^{-21}
t値	-14.851

- 実測値の変化に対して予測値の変化は類似している。
- 概ね、外気温に対する消費電力量の関係を表現できていると考えられる。
- 残差は数十[kWh]~数百[kWh]程度

AIT 愛知工業大学

11

4. 検討結果

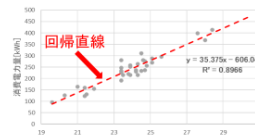
4.4. 6月から7月の検討結果

- ◆ 6月から7月の外気温に対する消費電力量の関係をグラフ化
縦軸:消費電力量[kWh], 横軸:外気温[°C] 8月のデータ欠如

分析より得られた回帰式

$$y = 35.375x - 606.04 \quad (3)$$

y:消費電力量[kWh], x:外気温[°C]



外気温に対する消費電力量の関係
(6月から7月)

外気温と消費電力量の相関係数
相関係数:0.947(正の相関)

回帰式への適合度

決定係数	0.897
P値	7.94×10^{-17}
t値	16.395

- 右上がり直線的変化を示している。
- 外気温19[°C]~28[°C]付近(消費電力量:100[kWh]~400[kWh])に分布が見られる。

AIT 愛知工業大学

12

4. 検討結果

4.4. 6月から7月の検討結果

- ◆ 分析により得られた回帰式に外気温データを与えることにより
予測値を算出し、実測値と比較
縦軸:消費電力量[kWh], 横軸:外気温[°C]

分析より得られた回帰式

$$y = 35.375x - 606.04 \quad (3)$$

y:消費電力量[kWh], x:外気温[°C]



実測値と予測値(6月から7月)

回帰式への適合度

決定係数	0.897
P値	7.94×10^{-17}
t値	16.395

- 実測値の変化に対して予測値の変化は類似している。実測値と予測値の重なりが多い。
- 概ね、外気温に対する消費電力量の関係を表現できていると考えられる。
- 残差は数十[kWh]程度

AIT 愛知工業大学

13

4. 検討結果

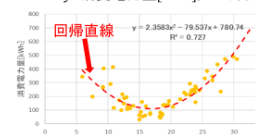
4.5. 9月から11月の検討結果

- ◆ 9月から11月の外気温に対する消費電力量の関係をグラフ化
縦軸:消費電力量[kWh], 横軸:外気温[°C]

分析より得られた回帰式

$$y = 2.3583x^2 - 79.537x + 780.74 \quad (4)$$

y:消費電力量[kWh], x:外気温[°C]



外気温に対する消費電力量の関係
(9月から11月)

外気温と消費電力量の相関係数
相関係数:0.853(正の相関)

回帰式への適合度

決定係数	0.727
P値(x ²)	1.43×10^{-12}
P値(x)	8.19×10^{-14}
t値(x ²)	10.904
t値(x)	-9.788

- 二次曲線状の変化を示している。
- 外気温5[°C]~30[°C]に幅広く分布(消費電力量:数十[kWh]~数百[kWh])している。

AIT 愛知工業大学

14

4. 検討結果

4.5. 9月から11月の検討結果

- ◆ 分析により得られた回帰式に外気温データを与えることにより
予測値を算出し、実測値と比較
縦軸:消費電力量[kWh], 横軸:外気温[°C]

分析より得られた回帰式

$$y = 2.3583x^2 - 79.537x + 780.74 \quad (4)$$

y:消費電力量[kWh], x:外気温[°C]



実測値と予測値(9月から11月)

回帰式への適合度

決定係数	0.727
P値(x ²)	1.43×10^{-12}
P値(x)	8.19×10^{-14}
t値(x ²)	10.904
t値(x)	-9.788

- 実測値の変化に対して予測値の変化は曲線状の変化を示している。
- 残差は数十[kWh]~数百[kWh]程度

AIT 愛知工業大学

15

5. まとめ

検討概要

- 外気温と空調機器の消費電力量の関係について回帰分析による検討
- 外気温は季節ごとに異なることを考慮し、季節ごとの検討
季節の割り当て:12月~2月, 3月~5月, 6月~7月, 9月~11月 8月はデータ欠如

検討結果

- 12月~2月, 3月~5月, 6月~7月に限って、外気温の変化に対して消費電力量は直線状に分布していることが、9月~11月に関しては、二次曲線状の分布を示していることが確認できた。
- 実測値と予測値の比較では、重なりが見られ概ね同様の変化を示していることが確認できた。

今後の予定

- 外気温以外の変数を追加した場合における検討を実施し、空調機器の電力需要予測モデルの構築を目指す予定である。

AIT 愛知工業大学

16

(3) 主な使用機器

- ・ 固定資産登録品名: クランプオンプローブ, 資産番号: 42001089
- ・ 固定資産登録品名: 電源品質アナライザセット PQ3198-92, 資産番号: 42001092

11. 行動経済学を考慮した電力需要に関する研究

(1) 研究概要

近年、カーボンニュートラルの実現に向けて、電気エネルギー分野では省エネルギー化が求められており、さらなる機器の高効率化や消費電力の削減が要求されている。そのなかで機器自体に対するアプローチだけではなく、種々の電力消費機器を扱う人に対して情報やアドバイスを与えることにより、使用者の省エネ行動の誘発、節電促進行動の誘発を行う手法として行動経済学におけるナッジ（Nudge）が注目されている。

そこで、本研究では行動経済学におけるナッジに注目し、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、省エネルギー行動の誘発・促進を行うことを目標に検討を行っている。本報告では、ナッジによる省エネルギー行動誘発効果に関する基礎的検討を行ったため報告する。具体的には、デフォルト効果を利用したナッジを空調機器の設定温度に適用し、行動誘発効果に関して検討を行ったものである。ここで、デフォルト効果とは選択してほしい選択肢を予め提示しておくことにより、人はその初期設定に影響され、その初期設定を受け入れるという心理傾向である。

検討の結果として、デフォルト効果を利用したナッジの適用時に設定温度が維持される傾向にあることが確認でき、ナッジにより設定温度維持ができる可能性を見出すことができた。

(2) 研究内容報告

目次

1. 研究背景・研究目的

2. 行動変容方策としてのナッジの活用

3. デフォルトナッジの効果に関する検討

4. 検討結果・考察

5. まとめ

行動経済学を考慮した電力需要に関する研究

1. 研究背景・研究目的

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。

問題点

◆ 天候などの自然的要因に左右されることによる発電量の不安定さ

解決策

◆ 需要家側での電力需要調整

再生可能エネルギー

エネルギーマネジメントの活用

◆ 地域・建物レベル

◆ 電力の見える化

Building Energy Management System(BEMS)を用いたシステム開発

火力発電

集中型電源

安定供給

需要調整

不安定な供給

需要家

1. 研究背景・研究目的

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マネジメントシステム(EMS)が研究されている。

従来のエネルギーマネジメント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これまで余り見られなかった

➡ エネルギーマネジメントシステムに行動経済学を組み込むことにより人の行動を考慮したシステムの構築を行う必要がある。

本研究の目的

✓ 人間の行動を考慮したエネルギーマネジメント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。

一般家庭におけるエネルギー消費割合

動力・照明等 34%

空調機器 27%

2020年度 6,500 100%消費

照明 10.7%

給湯 16.3%

50

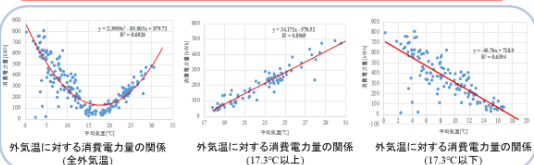
1. 研究背景・研究目的

AIT 愛知工業大学

これまでの検討内容

- ✓ 空調機器の電力消費に関して回帰手法などを用いて、空調機器の電力消費モデルを仮定し検討を行ってきた。
 - ✓ 行動経済学的手法を用いた行動誘発に関する検討を行ってきた。
- 空調機器を利用するのは人であるため、機器のエネルギー消費について人の行動などを考慮する必要がある。

空調機器の電力消費モデルに関して、行動経済学を考慮することにより、人の意思などを考慮したモデルの構築を目指している。



3 / 13

2. 行動変容方策としてのナッジの活用

AIT 愛知工業大学

行動経済学とは

- ◆ 人の“心の働き”に注目して、金融や経済などの動きを理解しようとする経済学の一分野である。



ナッジ(Nudge)とは

- ◆ ひじ等でそっと押して注意を引いたり前に進めたりすること

行動経済学者のリチャード・セイラー、キャス・サンステーン提唱の定義

- ◆ 選択を禁じること、経済的インセンティブを大きく変えることもなく、人々の行動を予測可能な形で変える選択的アーキテクチャのあらゆる要素

選択的アーキテクチャ

- ◆ 人の選択を促すための制度や仕掛けといった環境を自発的な意思決定のために、行動原理の理解に基づくデザインによって予測可能な変化を創り出そうとすること

4 / 13

2. 行動変容方策としてのナッジの活用

AIT 愛知工業大学

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



5 / 13

3. デフォルトナッジの効果に関する検討

AIT 愛知工業大学

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。

ナッジの概要

- 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

6 / 13

3. デフォルトナッジの効果に関する検討

AIT 愛知工業大学

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。

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ている。

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

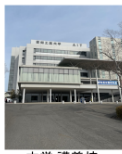
- ◆ 実験対象: 本学の講義棟 講義室 学内でも利用頻度が比較的高い建物

- ◆ 講義室の面積: 150.7[m²]

- ◆ 空調機器の種類: ガスヒートポンプ式エアコン(GHP)

- ◆ 空調機器の設定温度を、暖房24°Cに設定 講義終了後ごとに空調の設定温度、室温等を確認した。

- ◆ 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。



7 / 13

3. デフォルトナッジの効果に関する検討

AIT 愛知工業大学

検討方法概要

- ◆ デフォルトナッジによる空調機器の設定温度がデフォルト設定であるか、ないかと、外気温・室内温度などとの関係を調べることに、デフォルトナッジの効果・確率などを分析ができなかつた。

ロジスティック回帰分析を用いて、デフォルト設定であるか、ないかを予測するモデルについて検討を行うことにした。

ロジスティック回帰分析とは

- ◆ 複数の変数データをもとに統計的分析を行う多変量解析の一種であり、いくつかの要因からある事柄が起こる確率の導出や予測を行うことができる統計的手法。

8 / 13

3. デフォルトナッジの効果に関する検討

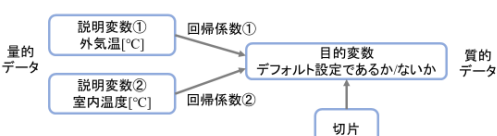
AIT 愛知工業大学

ロジスティック回帰分析による予測モデルの検討

- ◆ 記録した設定温度や室内温度などのデータを用いて、ロジスティック回帰分析によりデフォルト設定となる確率を予測するモデルに関して検討を行った。

ロジスティック回帰分析に扱う目的変数・説明変数の構成

- ◆ 目的変数: デフォルト設定であるか、ないか(1, 0)
 - ◆ 説明変数: 外気温[°C], 室内温度[°C]
- 外気温については、気象庁公開の「過去の気象データ検索」より愛知県豊田市の気象データを用いた。



ロジスティック回帰分析による各変数間の関係図

9 / 13

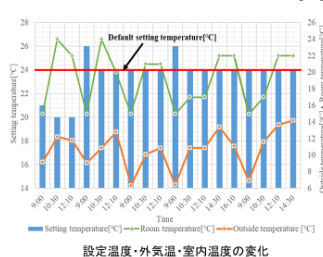
4. 検討結果・考察

AIT 愛知工業大学

設定温度・外気温・室内温度の変化

- ◆ 検討期間中の設定温度・外気温・室内温度の変化をグラフ化 第一縦軸: 設定温度[°C], 第二縦軸: 外気温[°C], 室内温度[°C], 横軸: 時間

- ◆ デフォルト設定温度(初期設定温度): 24[°C]



- ✓ デフォルト設定温度時の室内平均温度: 20[°C]
- ✓ 外気温と設定温度の差: 平均13[°C]
- ✓ 設定温度の変化に関して、概ね初期設定温度が維持されていることを確認

デフォルトナッジにより空調の設定温度を維持することができている可能性がある

10 / 13

4. 検討結果・考察 AIT 愛知工業大学

ロジスティック回帰分析による予測モデルの検討

- ◆ デフォルト設定温度(初期設定温度): 24[°C]
- ◆ 目的変数: デフォルト設定であるか、ないか(1, 0)
- ◆ 説明変数: 外気温[°C], 室内温度[°C]

分析より得られた回帰式

$$p = \frac{1}{1 + \exp(-(0.2831x_1 - 0.07941x_2 - 0.3191))}$$

p: デフォルト設定であるか(1, 0)の確率, x_1 : 外気温[°C], x_2 : 室内温度[°C]

分析結果の一例

- ✓ 外気温: 7[°C], 室内温度: 15[°C] 時にデフォルト設定である確率: 0.6158(61.58%)
- ✓ 実際のデフォルト設定の有無と、ロジスティック回帰分析による精度の比較

実データ件数: 18
正しく判別できている件数: 12

0.6667(66.67%)が正しく判別できていると判断できる

ロジスティック回帰分析による各変数間の関係図

4. 検討結果・考察 AIT 愛知工業大学

未知のデータに対する予測精度評価

- ◆ 仮定した予測モデルに対して未知のデータを与えることにより、未知のデータに対する予測精度の評価を行った。

分析より得られた回帰式

$$p = \frac{1}{1 + \exp(-(0.2831x_1 - 0.07941x_2 - 0.3191))}$$

p: デフォルト設定であるか(1, 0)の確率, x_1 : 外気温[°C], x_2 : 室内温度[°C]

予測精度評価

- ◆ 外気温: 13.1[°C], 室内温度: 22[°C] の時における予測
- ◆ 確率の判別: 導出した確率が0.5より大きい小さいで判別
p > 0.5の場合: 1
p < 0.5の場合: 0

$p = \frac{1}{1 + \exp(-(0.2831 \times 13.1 - 0.07941 \times 22 - 0.3191))} = 0.8379(83.79\%)$

- ✓ デフォルト設定である確率が約83.79%であると判断できる。
- ✓ 0.8379 > 0.5
- ✓ デフォルト設定となる確率が高いと判断できる。

ロジスティック回帰分析による各変数間の関係図

5. まとめ AIT 愛知工業大学

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、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して検討を行った。
- ◆ ロジスティック回帰分析を用いて、デフォルト設定であるか、ないかを予測するモデルに関して検討を行った。

検討結果

- ✓ 空調機器の設定温度に関して、デフォルト設定が維持されていることを確認できた。誘導効果が一定数の効果があると考えられる。
- ✓ ロジスティック回帰分析により仮定したモデルによりデフォルト設定であるか、ないかの確率及び未知のデータに対する予測精度を確認できた。

今後の予定

- 空調機器の電力消費モデルに関して、行動経済学的手法を考慮した多面的な検討を実施していく予定である。

(3) 主な使用機器

- ・ 固定資産登録品名: クランプオンプロープ, 資産番号: 42001089
- ・ 固定資産登録品名: クランプオンプロープ, 資産番号: 42001090
- ・ 固定資産登録品名: 電源品質アナライザセット PQ3198-92, 資産番号: 42001092

12. 小形風力発電機における共振現象の解析に関する研究

(1) 研究概要

小形風力発電機は、効率のよい運用のために需要家の近くに設置することが適当であるが、システム導入に際して様々な問題点が挙げられる。特に直接的な人への影響として騒音や振動の問題がある。環境省が全国 29 ヶ所で行った風車騒音の実測調査によると、40Hz 以上の周波数域において騒音として議論すべきであるとしている。騒音の原因として考えられる共振現象は、風車ブレードの回転による固有振動数に関係するものと発電機または制御システム機器に起因するものがある。風力発電機の共振を抑制できれば、風車の安全性、騒音の抑制、システム効率の向上が期待できる。

本研究では、小形風力発電機を用いた共振現象についての特性を解析している。フィールドに設置してある小形風力発電機の出力波形を高速フーリエ変換 (FFT : Fast Fourier Transform) し周波数特性を算出している。その結果を参考に試験回路モデルを構築し、共振現象を発生させた小形風力発電機の出力波形とマイクロホンによる集音データの FFT 解析を実施した。その結果、小形風力発電機の共振現象発生に関する周波数特性を試験により確認している。

本研究で得られた周波数特性は、小形風力発電機の出力がひずむことで特徴的な波形が発生し、音の発生につながるものと考えられ、小形風力発電機の共振現象についての特性を解析できている。これは風力発電機の騒音対策として小形風力発電機の共振抑制手法を確立する基礎的な研究データとして活用をしていく。

(2) 研究内容報告

小形風力発電機における 共振現象の解析

1. はじめに

●背景

➤小形風力発電機

- ・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
- 需要家の近くに設置される

➤風力発電の問題点

- ・直接的な人への影響として騒音や振動の問題

●原因

1. 風車ブレードの回転による固有振動数に関係するもの
2. 発電機または制御システム機器に起因するもの

風力発電機の共振を抑制することにより、

- ①風車の安全性
- ②騒音の抑制
- ③システム効率の向上

等々が期待できる

風車による騒音被害
定格20kW未満の場合
→200m以内に風車が設置されている住宅に住んでいる住民から苦情が寄せられている

1. はじめに

●風力発電における騒音問題について

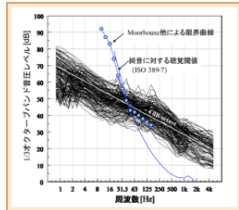


図 全国29の風力発電施設周辺164地点における風車騒音の周波数特性の分析結果

環境省による実測データと報告内容

164地点の実測データより、「-4dB/octave」の傾きが得られた

騒音の閾値(曲線)による確認
・Moorhouse他による限界曲線
・純音に対する聴覚閾値

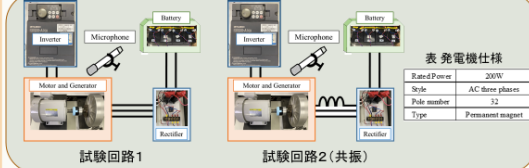
40Hz以上の周波数において、騒音として議論すべきであると考えられる

本報告では、小形風力発電機を用いた、**共振現象**についての特性を解析した
・検証回路の作成
・実機による電気波形と音の測定

2. 小形風力発電機の共振現象

2-1. 試験方法

試験回路について



～試験について～
・U相にリアクトル(6.0mH)を入れることにより、電気波形のバランスを崩し、共振状態を作り出す
・インバータおよび電動機にて回転数の制御を行っている(120rpm)
・マイクロホン発電機の回転軸付近に設置して集音を行った

2. 小形風力発電機の共振現象

2-1. 試験概要/試験結果

・測定ポイント

- A 発電機出力を計測 (電圧/電流)
- B 直流出力を計測 (電圧/電流)
- 音 マイクロホンにより発電機から発生する音を計測 → 解析を掲載

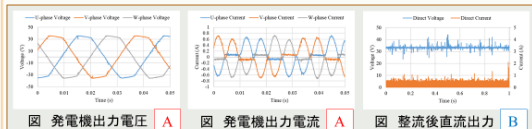
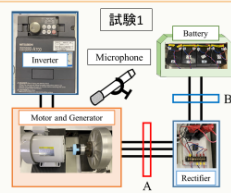


図 発電機出力電圧 A 図 発電機出力電流 A 図 整流後直流出力 B

2. 小形風力発電機の共振現象

2-2. 試験結果

●リアクタンス導入 (=試験2) 出力波形バランスの崩れ

- Aポイントでの出力電圧・出力電流
→ 発電機出力電流にて顕著にみられる
- Bポイントでの整流後直流出力
→ 電圧・電流共に波形の乱れ

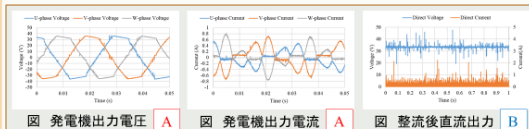
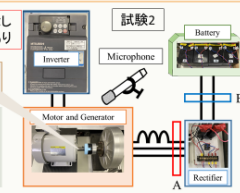
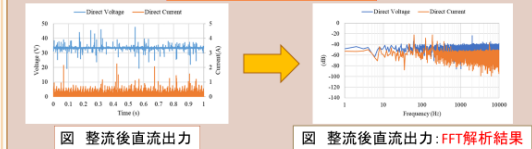


図 発電機出力電圧 A 図 発電機出力電流 A 図 整流後直流出力 B

3. 高速フーリエ変換を用いた解析

3-1. 解析方法

周波数分析への変換



・音響や振動の信号には複数の周波数成分が混在
→ それらを決められた帯域ごとに分析(周波数分析)することで、計測データの特性の確認ができると考えられる

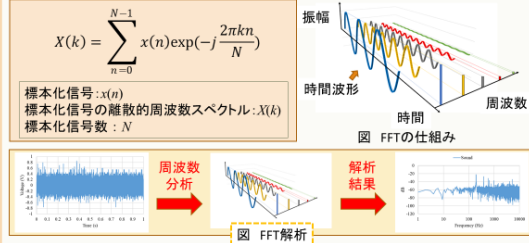
高速フーリエ変換(FFT解析)について

3. 高速フーリエ変換を用いた解析

3-1. 解析方法

高速フーリエ変換 (FFT: Fast Fourier Transform)

…時間波形から離散フーリエ変換を計算する方法



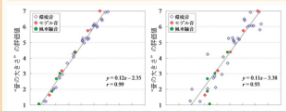
3. 高速フーリエ変換を用いた解析

3-1. 解析方法

音測定に関する音圧レベルについて

●音測定について

音圧レベル…音の強さ・大きさを表す「音圧」に対し、測定した音が基準音圧に対してどれだけ大きいか・小さいかを示した対数
A特性: 人間の聴覚可能な範囲の周波数に重みづけ
C特性: ほぼ平坦な重みづけを行ったもの

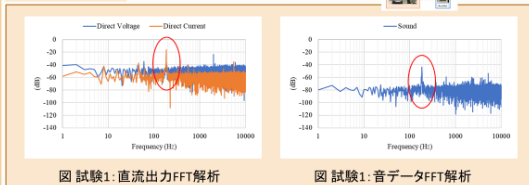


環境省の行ったラウドネス実験の結果より…
C特性音圧レベルよりもA特性音圧レベルの方がラウドネス評価に適していることが分かった

風車騒音の評価にはA特性音圧レベルを用いる
ラウドネス: 音の大きさに関する感覚量

3. 高速フーリエ変換を用いた解析

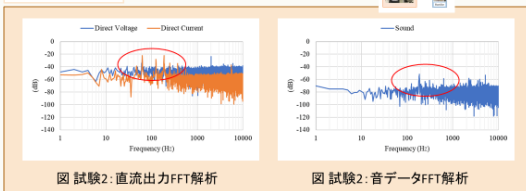
3-2. 解析結果



～試験1で取得した波形のFFT解析結果～
・直流出力: 青色→直流電圧、橙色→直流電流 / 音データ: 青色→音
・電気波形では、電圧・電流波形ともに185Hzにて、特徴的な波形を確認した
・集音した音データについても185Hzにおいて特徴的な波形を確認した

3. 高速フーリエ変換を用いた解析

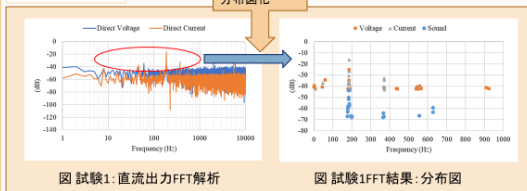
3-2. 解析結果



- ～試験2で取得した波形のFFT解析結果～
- ・直流出力: 青色→直流電圧、橙色→直流電流 / 音データ: 青色→音
 - ・電気波形では、電圧・電流波形ともに185Hz以外にも、60から400Hz周辺にかけて振幅の大きい特徴的な波形を確認した
 - ・集音した音データについても同様の範囲において特徴的な波形を確認した

3. 高速フーリエ変換を用いた解析

3-2. 解析結果

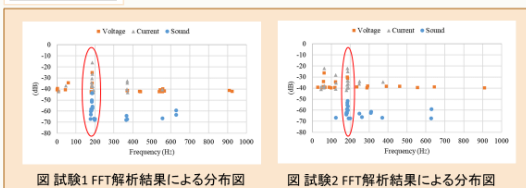


- ～FFT解析結果の分布図化～
- ・より詳細に特徴的な波形の分布する周波数を確認するため、FFT解析で得られたデータを分布図にする
 - ・分布図の作成には、1から1000Hzの範囲を対象に振幅の大きい値20個各データ(直流電圧・直流電流・音)を使用

3. 高速フーリエ変換を用いた解析

3-2. 解析結果

試験1と試験2の比較

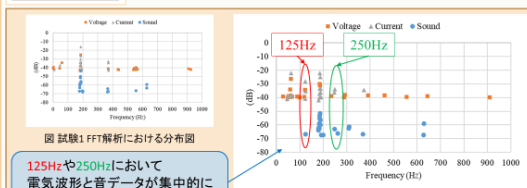


- ～解析結果～
- ・試験1の場合は、特徴的な波形が電圧・電流・音ともに185Hzに集中していることが確認できる
 - ・試験2の場合は、特徴的な波形が185Hz以外にも幅広く分布していることが確認できた
- 試験2の結果について次スライドにて詳しく確認する

3. 高速フーリエ変換を用いた解析

3-2. 解析結果

試験2の結果詳細



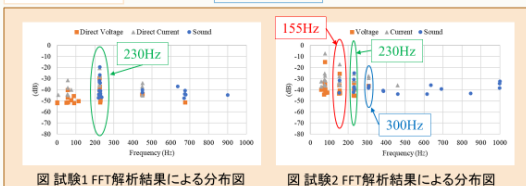
- ～解析結果～
- ・125Hzや250Hzにおいて電氣的な解析結果と集音による音データの解析結果が一致している
 - ・特徴的な波形のある周波数帯域に関して、電気と音は密接に関連している

3. 高速フーリエ変換を用いた解析

3-2. 解析結果

140rpmの場合

試験1と試験2の比較



- ～140rpmの場合の解析結果～
- ・試験1の場合は、特徴的な波形が230Hzに分布していることが確認できる
 - ・試験2の場合は、特徴的な波形が230Hz以外にも幅広く分布していることが確認できた
 - ・特に155Hzと300Hzに特徴的な波形が分布していることが分かった

4. まとめと今後の方針

✓まとめ

- 小形風力発電機の共振現象の試験回路を構築
- 共振現象として音の発生とその周波数特性の計測
- 小形風力発電機に電氣的なひずみが発生した場合、直流出力波形に影響を及ぼし、音の発生につながる
- 小形風力発電機の共振現象についての特性を確認

✓今後の方針

- 音の解析とともに振動の解析についても検討
- 小形風力発電機の共振抑制手法の確立
- フィールドにおける騒音計測(画像右)



大学構内風車

(3) 主な使用機器

- ・固定資産登録名：計測用マイクロホン、資産番号：42200242
- ・固定資産登録名：センサアンプ(中古品)、資産番号：42200287
- ・固定資産登録名：メモリハイコーダ、資産番号：41800355
- ・固定資産登録名：クランプオンプローブ 3276、資産番号：42001090

13. 特殊巻線構造 12 相変圧器を用いたコンバータに関する研究

(1) 研究概要

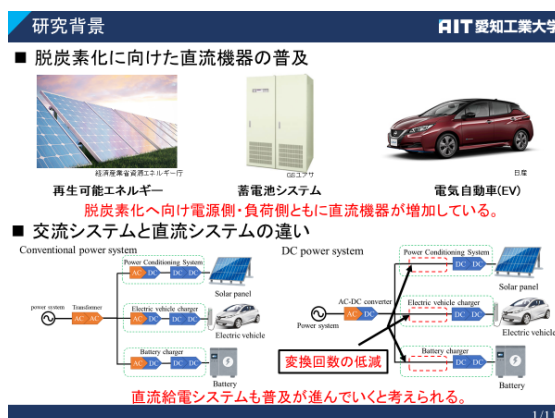
近年，脱炭素社会の実現に向け，電力部門においては再生可能エネルギーを用いた発電装置の主力電源化が目指されている。再生可能エネルギー発電として，太陽光発電装置や風力発電装置が導入されている。そして，これらの発電方式では直流電力を発生させるため，既存の利用方法では，発電した直流電力をパワーコンディショナにより交流電力へと変換する必要があり，変換ロスが発生してしまう。そこで近年では，再生可能エネルギーによる発電装置と親和性の高い直流給電配電が注目されている。

直流給電配電では，系統の交流電力を AC/DC コンバータにより一括で直流電力へと変換し，直流バスを作ることで各機器へ直流給電を行う。そのため，直流バスに太陽光発電装置を接続することにより，発電した電力を交流に変換せずに有効に利用することができる。しかし，現在一般的に普及している機器は交流入力のものが多いことから，将来的には交流機器と直流機器を併用して使うことが想定される。そこで，本研究では交流給電と直流給電を一つの変換器で行うことが可能な特殊巻線構造変圧器を用いたコンバータ回路を提案している。

電圧リプルを低減した脈流の少ない直流電力を出力するために，変圧器の二次側を多相化した際の二次側結線の増加を抑え，低コストで多相化することが可能な特殊巻線構造変圧器を提案し，特殊巻線構造変圧器を用いたトランス方式の AC/DC コンバータにより，交流負荷と直流負荷にハイブリッド給電を行った際の効率，出力電圧リプル，入力電流高調波に関して検討を行った。本研究により，提案するコンバータを用いることで交流給配電と直流給配電を同時に行うことが可能であることが分かった。また，コンバータの効率は直流負荷単体の場合に比べて，交流負荷を両用することで直流負荷が軽負荷時の際に効率が向上し，入力電流総合高調波は交流負荷を接続することで軽負荷時において特に低減効果が見られることが分かった。これは，特殊巻線構造 12 相変圧器を用いて直流出力だけでなく交流出力を同時に行う際の基礎特性として幅広く活用していく。

(2) 研究内容報告

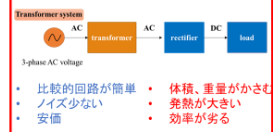
特殊巻線構造変圧器を用いた コンバータに関する研究



本研究では直流給電システムの中でも、商用系統と接続される交流・直流変換器に着目した。

■ 交流・直流変換器の各種方式

◆ トランス方式



- 比較的回路が簡単
- 体積、重量がかさむ
- ノイズが少ない
- 発熱が大きい
- 安価
- 効率が劣る

◆ スイッチング方式



- 小型軽量化が可能
- 回路が複雑
- 発熱が少ない
- 効率高い

本研究では交流・直流変換の中でもノイズが少ないという観点からトランス方式に着目している。

◆ 従来のトランス方式の課題

変圧器を多相化することにより入力電流高調波や出力電圧リプルを低減することが可能となるが、巻き線の増加に伴うコストや損失の増加が新たな問題となる。

低コストで変圧器を多相化する方法が求められている。

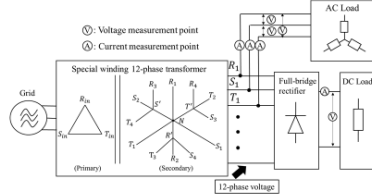
2/11

■ 本論文の目的

◆ 検討項目

提案するコンバータの交流・直流ハイブリッド給電時の基礎特性の検討

◆ 提案するコンバータ回路

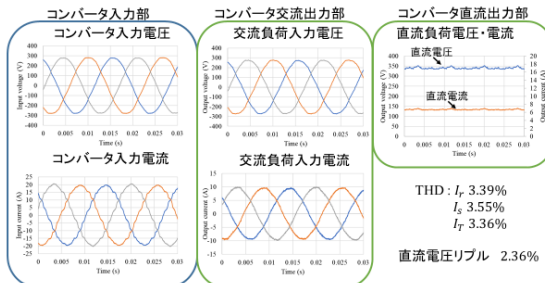


特殊巻線構造12相変圧器の二次側12相交流電圧の内、120° 毎に位相のずれた3つの結線に交流負荷を接続することによりハイブリッド給電を行う。

4/11

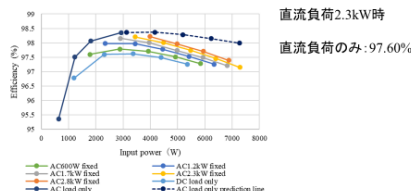
■ 実験結果

◆ 巻線抵抗負荷時(交流電力 2.2kW、直流負荷 2.3kW)



提案するコンバータを用いて交流負荷と直流負荷を同時に動作させることが可能

6/11



直流負荷 2.3kW時

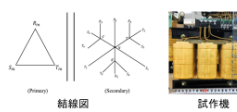
直流負荷のみ: 97.60%

8/11

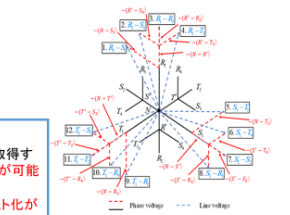
■ 特殊巻線構造12相変圧器

筆者らは、低コストで多相化する方法として特殊巻線構造を提案し、特殊巻線構造変圧器を試作した。

◆ 特殊巻線構造12相変圧器



◆ 特殊巻線構造12相変圧器の電圧取得方法



◆ 特殊巻線構造変圧器のメリット

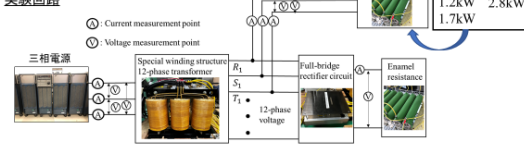
- R_1, S_1, T_1 結線を基準として線間電圧を取得することにより二次側巻線を低減することが可能
- 二次側巻線を低減することにより低コスト化が可能

本研究では、特殊巻線構造変圧器を用いたコンバータの特性解析を目的としている。

3/11

■ 実験方法

◆ 実験回路



◆ 使用機器

Special winding transformer specification	
Rated power	10kVA
Rated primary voltage	200V
Rated secondary voltage	240V
Primary winding	Δ connection
Secondary winding	Special winding connection

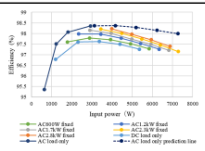
◆ 計測項目

- ✓ 交流負荷と直流負荷を同時に動作させた場合のコンバータの入力電圧・電流、交流負荷電圧・電流、直流負荷電圧・電流を計測した。
- ✓ また、交流負荷を600W、1.2kW、1.7kW、2.3kW、2.8kWのいずれかの条件で固定とし直流負荷を変化させた際の効率、入力電流高調波、出力電圧リプルに関して検討を行った。

5/11

■ 実験結果

◆ 効率計算結果



◆ 効率計算式

$$\eta = \frac{P_{out(AC)} + P_{out(DC)}}{P_{in}} \times 100 (\%)$$

P_{in} : 入力電力 (W) $P_{out(AC)}$: 交流負荷電力 (W) $P_{out(DC)}$: 直流負荷電力 (W)

◆ 損失計算式

$$P_c = P_{in} - P_{out(AC)} - P_{out(DC)} - P_i (W)$$

P_{in} : 入力電力 (W) P_i : 鉄損 (W) $P_{out(AC)}$: 交流負荷電力 (W) $P_{out(DC)}$: 直流負荷電力 (W)

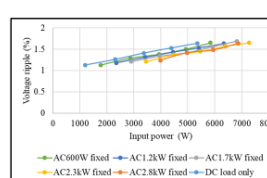
◆ 測定の結果

- ✓ 交流負荷のみの場合が最も最大効率が高く、直流負荷のみの場合の最大効率が最も低い結果となった。
- ✓ 直流負荷のみではなく、適切な大きさの交流負荷を併用することにより軽負荷時において効率が向上することが分かった。

7/11

■ 実験結果

◆ 出力電圧リプル測定結果



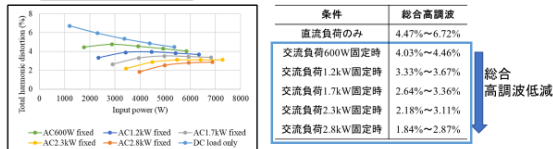
- ✓ 整流後出力電圧リプルは負荷の増加により上昇していく。
- ✓ 整流後出力電圧リプルは1.13%~1.69%の間となった。
- ✓ 直流負荷が一定の場合、交流負荷が変化した場合でも整流後出力電圧リプルは変化しないことが分かった。

交流負荷を両用した場合でも、整流後直流電圧リプルには影響を与えないことが分かった。

9/11

■ 実験結果

◆ 入力電流高調波測定結果



◆ 直流負荷のみの場合

入力電力が増加するほど減少していく。

◆ 交流負荷と直流負荷を同時に動作させた場合

入力電力が増加するほど増加していく。

- ✓ 交流負荷と直流負荷を同時に動作させることにより入力電流総合高調波を低減することが可能であることが分かった。

10/11

■ まとめ

◆ 本論文の目的

提案するコンバータの交流/直流ハイブリッド給電の諸特性に関して検討を行った。

◆ 実験結果

✓ 効率測定

直流負荷のみの場合と比較して、交流負荷を同時に利用することにより特に軽負荷時において効率が向上することが分かった。

✓ 出力電圧リプル

交流/直流ハイブリッド給電を行った場合でも、整流後直流電圧リプルの値は直流負荷のみの場合とほぼ同等であり影響は見られなかった。

✓ 入力電流高調波

交流/直流ハイブリッド給電を行うことにより入力電流総合高調波は低下する。しかし、直流負荷が同一電力において、直流負荷のみの場合と比較して系統に流出する高調波電流の大きさは変化しないということが分かった。

◆ 今後の予定

今後は、交流出力部に交流発電機やPCSを接続し、直流負荷を動作させながら系統へ逆潮流を行うことが可能であるのかに関して検討を行っていく。

12/11

■ 実験結果

◆ 各次数の入力電流高調波測定結果(交流負荷1.7kW, 直流負荷5.2kW)



◆ 直流負荷のみの場合、交流負荷と直流負荷を動作させた場合

- ✓ 各次数の入力電流高調波の電流値は変わらない。

◆ 交流負荷のみを動作させた場合

- ✓ 高調波電流はほとんど発生しない。

◆ 基本波電流の違い

交流負荷と直流負荷	20.914 A
直流負荷のみ	16.258 A
交流負荷のみ	5.303 A

- ➡ 交流負荷と直流負荷を動作させた場合では基本波電流のみが増加することにより入力電流高調波が低減したと考えられる。

11/11

(3) 主な使用機器

- ・ 固定資産登録品名： 電源環境シミュレータ 6kVA 三相システム, 資産番号：41800678
- ・ 固定資産登録品名： メモリハイコーダ, 資産番号：41800355
- ・ 固定資産登録品名： アナログユニット(MR6000 用), 資産番号：41800356
- ・ 固定資産登録品名： 電源品質アナライザセット PQ3198-92, 資産番号：42001092
- ・ 固定資産登録品名： クランプオンプローブ 3274, 資産番号：42000608

14. 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

(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。

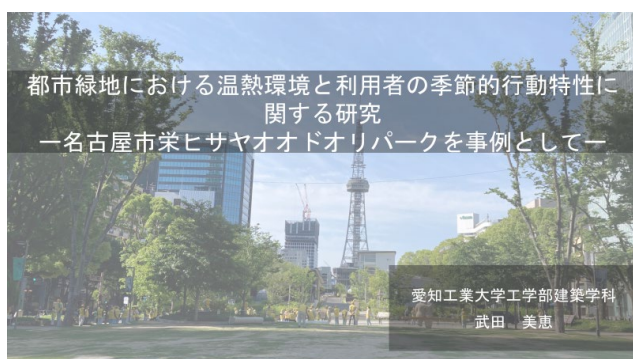
今年度の研究では名古屋市都心部である中区栄のヒサヤオオドリパークを対象とし、6月、7月、10月に利用者の利用行動及び利用に影響を及ぼす気温を調査し、都心部の緑地空間の温熱環境と季節的利用実態を明らかにする。

利用者の利用行動はヒサヤオオドリパークにおいて、特徴の異なる ZONE 1、ZONE3 に自動記録式カメラを設置して定点で撮影・記録し、記録データから行動分類し、時刻ごとにまとめた。目視観察も実施している。気温は、自動記録式気温計を樹木の木陰に設置し、10分間隔で測定・記録した。

実験結果より、夏季 2022 年 7 月 31 日、気温が 12 時以降に 36℃を超えると利用者は減るが、16 時以降になると利用者が増える。猛暑日である 7 月 31 日最高気温が 14 時に 37℃に達したにも関わらず、計 42 人が利用している。一方、利用者が最も多かった日は初夏 5 月末の土曜日である。ZONE1 は、すべての調査期間の利用者属性を合計すると、家族(親子)が最も多く、ZONE3 は友人同士が最も多いことが分かった。このように、今年度は、利用者数が ZONE 1、ZONE3 を使い分け、幅広い世代層が多様な利用目的で使用していることを明らかにすることができた。

次年度は、地下街利用者数と地下街の消費電力量との関係性から利用者の季節的行動特性について考察を行う予定である。

(2) 研究内容報告



◆1章 はじめに

都市緑地公園

- 多様な機能
- ・ 災害時の避難場所
 - ・ 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健康・レクリエーション機能
 - ・ 環境教育効果機能
 - ・ コミュニティ形成機能
 - ・ 生物多様性の回復機能

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。



写真1 ヒサヤオオドリパーク内写真

都心部の緑地空間の利用実態把握
利用者属性と利用者の行動を調査

◆2章 研究方法 一調査地概要一

- ヒサヤオドリパーク**
- ZONE1
- ・パーク内最大の芝生面積を持つ
 - ・くつろぎや憩いの空間となる学びの森ゾーン
- ZONE3
- ・テレビ塔北側
 - ・駅直通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



図1 ヒサヤオドリパークの位置図
(国土地理院地図に筆者加筆)

◆2章 研究方法 一温湿度・日射量調査一

表3 温湿度調査概要	表4 日射量調査概要
調査期間 2022年5月27日～6月8日、7月16日～7月31日、10月5日～10月9日 計34日	調査期間 2022年5月27日～6月8日、7月16日～7月31日、10月5日～10月9日 計34日
調査地 愛知県名古屋市中区 ヒサヤオドリパーク ZONE1、ZONE3	調査地 愛知県名古屋市中区 ヒサヤオドリパーク ZONE3
観測地点 地点1、地点2、地点3 計3地点	観測地点 地点3
使用機器 T&E社 おんどとり TR-T04F	使用機器 フリード社製 センサーP300-41 自動記録式データロガー 810K10123635
形態 温湿度計を地面から1.5mの高さに設置し、10分間隔で観測・記録を行った。	形態 日射計を地点3に設置し、10分間隔で観測・記録を行った。



写真6 温湿度センサー設置状況



写真7 カメラ・日射計設置状況

◆4章 気候と利用行動の関係

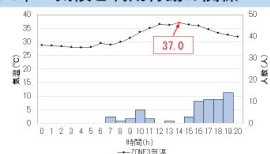


図4 ZONE3 7月31日(日曜日)の利用者と気温変化



写真10 ZONE3 7月31日14時台

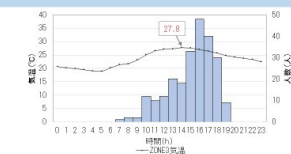


図5 ZONE3 5月28日(土曜日)の利用者と気温変化



写真11 ZONE3 5月28日16時台

◆2章 研究方法 一利用実態調査一

表1 定点カメラ調査概要

調査期間	2022年5月27日～6月8日、7月16日～7月31日、10月5日～10月9日 計34日
調査地	愛知県名古屋市中区 ヒサヤオドリパーク ZONE1、ZONE3
観測地点	地点1、地点3 計2地点
使用機器	COCOCAM社製 トレイルカメラ4K 電池式 MicroSDカード記録
形態	7時～20時の間5分間隔で静止画を撮影し(2022年5月27日～6月2日のみ7時～19時)、撮影画像を基に10分以上滞在していた利用者の滞在時間と利用方法を記録。



写真4 地点1カメラ画像

表2 目視観察調査概要

調査期間	2022年5月1日～6月8日、7月20日～7月27日、8月12日 計17日
調査地	愛知県名古屋市中区 ヒサヤオドリパーク ZONE1、ZONE3
使用機器	ADH社製 AD-5688 みはりん坊(気温測定)
形態	調査員の目視で静止画ではわからない連続行動、行動特徴、時間をメモし、定点カメラには写らない行動や属性が分かるよう遠景・近景での写真撮影。



写真5 地点3カメラ画像



図2 ZONE1すべての調査期間における利用属性割合



写真8 ZONE1家族利用者

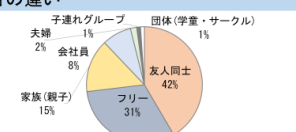


図3 ZONE3すべての調査期間における利用属性割合



写真9 ZONE3友人同士利用者

◆3章 利用者行動観察調査の結果と考察 一ZONEごとの利用者属性割合の違い一

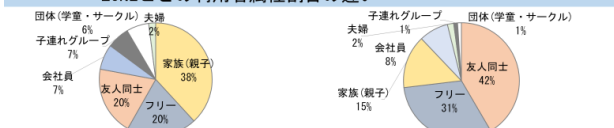


図2 ZONE1すべての調査期間における利用属性割合



写真8 ZONE1家族利用者

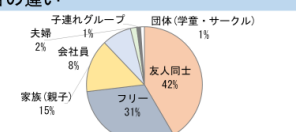


図3 ZONE3すべての調査期間における利用属性割合



写真9 ZONE3友人同士利用者

◆5章 結論

- ・ZONE1は全ての調査期間において、家族の利用が最も多い。
- ・一方、ZONE3は友人同士での利用が最も多い。
- ・会社員のランチ利用が見られた。
- ・日中30℃を超える真夏日でも利用者がいる。また、猛暑日でも休日には利用があった。



写真12 会社員のランチ利用



写真13 テント利用者



写真14 チェアを持参する利用者

(3) 主な使用機器

- ・固定資産登録品名：COCOCAM 防犯カメラ、資産番号：42200065

15. 誘電体を用いた高指向性面電流磁気センサの検討

(1) 研究概要

現在、国内においてのエネルギー政策により社会全体の電気への依存度が高くなっている。そのため、ガス絶縁開閉装置（GIS）などの電力機器に対し高い信頼性が求められ、これを維持するために事故や故障を未然に防止する絶縁診断技術が重要であるとされている。また、近年の絶縁診断技術の傾向として、機器のコンパクト化やメンテナンス作業の簡便化が重要視されている。

本研究は絶縁診断技術の一つである、電力機器の部分放電（PD）電磁波を検出する外部センサの開発・実用化に取り組んできた。外部センサの開発・実用化に向けての課題として外部ノイズが挙げられる。そこで、PD 電磁波をベクトル的に検出する面電流センサに注目した。この面電流センサは電界と磁界両方をバランスよく検出することで PD 電磁波をベクトル的に検出し PD 電磁波と外部ノイズの判別が期待できる。しかし、実際は電界と磁界のバランス調整が難しく、理想的な特性を得るのが困難であった。そこで、磁界のみを検出する面電流磁気センサを開発した。これにより、面電流センサよりも鋭い指向性が期待できる。開発した面電流磁気センサは、2つの1ターンループを直角に配置した構造とし、平面波の伝搬方向に対して0度端子の方の出力をA、90度端子の方の出力をBとして理想曲線を算出し、この曲線を用いて指向性を求めるものである。しかし、算出実施時には、信号とノイズを同時に計測できないことや高指向性を得るのに時間がかかるという欠点があった。

本報告では、演算手法を使用せずに求める手法について検討した。具体的には、センサとアクリルスペーサの設置効果について検討をしたので報告する。

(2) 研究内容報告

誘電体を用いた 高指向性面電流磁気センサの検討

研究背景

社会全体の電気への依存度が高い → 電力機器における信頼性が求められる

機器の信頼性の維持
事故や故障を未然に防止する
絶縁診断技術が重要

部分放電の検出
絶縁破壊（BD）の前駆現象である
部分放電（PD）の検出が有効



図1 電力機器（550kV GIS）※

※株式会社東芝「送電電機技術センター 東芝浜川崎工場ご案内」パンフレット、No.8010-9.p.9（2005）

PD（部分放電）電磁波を検出する外部センサ開発・実用化が必要

研究背景

外部センサの課題: 外部ノイズ

PD電磁波をベクトルのに検出する
面電流センサに注目

面電流センサ
電界と磁界両方を検出することで
PD電磁波をベクトルのに検出し
PD電磁波と外部ノイズの判別が期待できる



図2 面電流センサ

電界と磁界のバランス調整が難しく、
理想的な特性を得るのが困難

電界と磁界のバランス調整が難しい

磁界のみを検出する面電流磁気センサを開発

面電流センサよりも鋭い指向性が期待できる

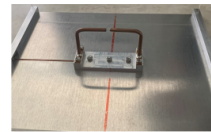
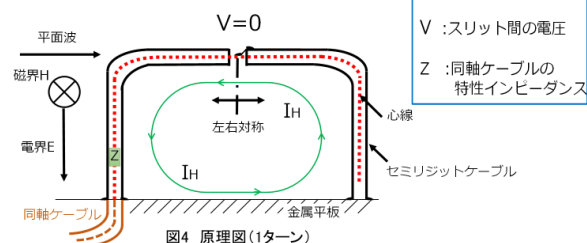


図3 面電流磁気センサ

研究目的

面電流磁気センサの演算を使わない高指向性実現の検討

面電流磁気センサの原理



面電流磁気センサの出力は磁界による誘導電流 I_H のみで決定される

面電流磁気センサの原理

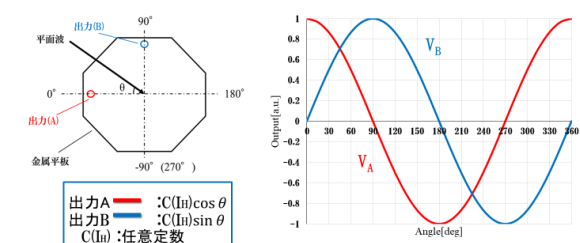


図5 出力の定義

図6 平面波入射角と出力の関係(理想曲線)

過去の研究

演算を用いることで高指向性を得ている

演算を行う欠点

- ・信号とノイズを同時に計測できない
- ・高指向性を得るのに時間がかかる

本研究では

- ・信号とノイズを同時に計測
- ・時間の短縮

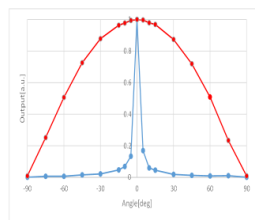


図7 面電流磁気センサの平面波入射角と出力の理想曲線

研究目的

磁界のみを取り入れ面電流を測定する

演算を用いた手法を使わず演算の指向性に近づける

指向性向上の原理

誘電体内の共振を利用して特定の周波数帯域のみを狙えば、指向性は高くなる可能性がある。

図8のように、矢印の周波数帯域を狙えば、0度の部分だけを強調する事ができる。

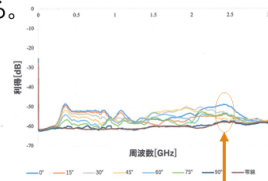


図8 過去のデータ

実験方法

0° から90° まで15°Cの間隔で
回転し出力を測定

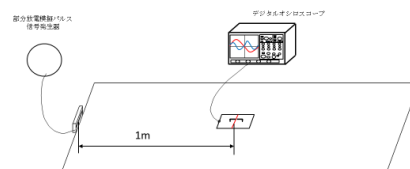


図9 実験の概略構成

実験1

アクリル板を使用した実験



図10 アクリル板を使用したセンサ

使用するアクリル板



図11 センサのない部分

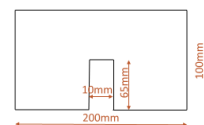


図12 縦穴式 空間小

アクリル板の有無

青線: 板有の値
赤線: 理論値
黒線: 板無の値

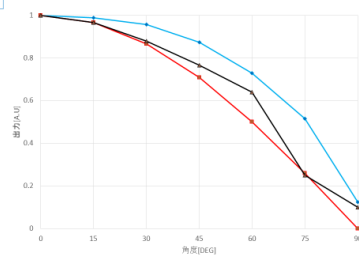


図13 角度と利得の関係

周波数特性

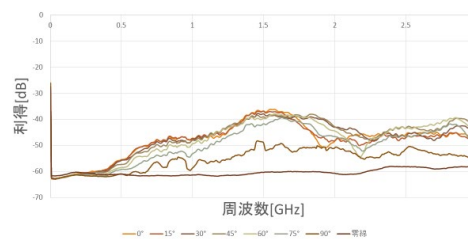


図14 周波数特性

実験2

水を使用した実験(センサ2)



図15 センサ2

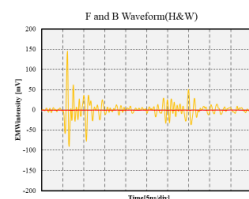


図16 水なし時

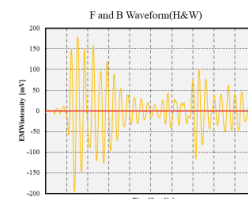


図17 センサの上部まで水投入時

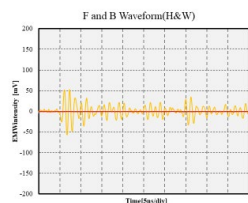
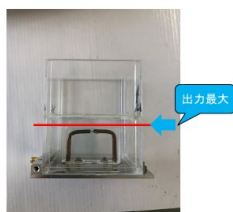


図18 満水時



水の有無【センサ2】

青線: 水有の値
赤線: 理論値
緑線: 水無の値

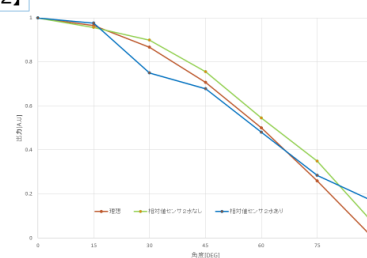


図19 角度と利得の関係

周波数特性【センサ3】

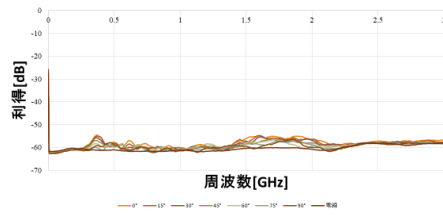


図25 周波数特性

まとめ

アクリル板を使用した実験

- 角度と利得の関係より、相対値は理論値を上回っていた。
- アクリル板を使用した過去の研究データより、こちらも相対値は理論値を上回っていた。
- アクリル板を設置した場合の周波数特性からも、目立った指向性帯域なし。



高指向性の実現
難しい

水を使用した実験

- 誘電体を水に変えたことで、水がセンサの出力に影響を及ぼすことが分かった。
- しかし、構造によって影響が伴わないことがある。



今後の展望

水がセンサの出力に対して影響を及ぼすことが分かったので、形を変える事で高指向性の実現を可能にしたい。