

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：57301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03045

研究課題名（和文）地震時の地表面電位変化計測システムの構築と評価

研究課題名（英文）Construction and evaluation of a system for measuring changes in ground surface potential during earthquakes

研究代表者

須田 義昭 (Yoshiaki, Suda)

佐世保工業高等専門学校・その他・特命教授

研究者番号：20124141

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000 円

研究成果の概要（和文）：極めて微小な前駆的地殻変動を電気的に検出する安価な地表面電位計測システムを開発し、それを全国の高専のうちのいくつかの地域に設置した。これを用いて、日本全国の電気的情報を、全く同時に収集・表示する装置を開発した。研究結果から、1)地震前には、正の方向への優位な地表面電位変化がある。これは、大地の剪断応力によって発生したイオンによるものと考えられる。2)落雷や大雨をもたらす積乱雲の接近でも、電位変化が起こる。落雷時には電位は負になることがある。3)降雪時には負の方向への電位変化が起こる。4)地震前に電位変化はほぼ必ず起こるが、電位変化が起こると地震が起こる可能性は30%未満であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震や豪雨などの大規模自然災害を地表面電位変化からある程度予測できるシステムの開発を行った。これらの変化は、地震や降雨時前の積乱雲の接近ではほぼ必ず起こるが、どのような電位変化のパターン後にどのような気象変動が起こるかは確実には分からなかった。また、電位変化は災害の必要条件ではあるが、十分条件ではないため、確実な予測には単純には利用できない。今後は、電位変化のパターンや計測装置の形状変化を工夫することと、これらのデータを多く蓄積し、AI等でパターン解析することによって、予知装置としての精度を上げられるか、検討していくとともに、地震や豪雨、豪雪、落雷を学習する装置として利用することを検討したい。

研究成果の概要（英文）：An inexpensive system to electrically detect extremely small precursory crustal deformations have been developed. The system was installed at eight technical colleges and universities throughout Japan. Using this system, we developed a device to collect and display electrical information from all over Japan. The results of this study revealed the follows. 1) Before an earthquake, there is a predominant change in electrical potential in the positive direction. This is thought to be due to ions generated by the shear stress of the earth. 2) Potential changes also occur with approaching cumulonimbus clouds that bring lightning strikes and heavy rainfall. During lightning strikes, the potential can be negative. 3) Potential changes in the negative direction occur during snowfall. 4) Potential changes almost always occur before an earthquake. But when a potential change occurs, the likelihood of an earthquake is found to be less than 30%.

研究分野：教育工学

キーワード：地表面電位変化 地震 地殻変動 大気電界変化 自然災害 豪雨 豪雪

### 1. 研究開始当初の背景

近年増加しつつある大規模な地震は、甚大な被害を与えるだけでなく、生徒や学生のその後の成長にも悪影響を及ぼす。また、台風等と異なり、メカニズムが複雑でわかりにくいことや、予測が非常に難しいため、心身ともに準備ができず、そのことが物心両面への負担を増大させている。そのため、地震予知研究に力が入られてきたが、現在では、その困難さから、方向性が変更されつつある。一方、地震が発生する前には先行現象として大気から大地に流れる電流（空地電流）や大気電界が変化することが示唆されている。地震により断層には引力斥力が加わるため、広い範囲で地表面電位に変化が生じると考えられており、それに伴い大気中に存在する荷電粒子（イオン）が増減し、大気電界や空地電流として存在する。これらは、極めて微小かつ局所的で短時間の前駆的地殻変動が引き起こす静電的現象である。通常これらの前駆的現象はひずみの蓄積と比較して非常に小さな時定数で起こるため、地殻に圧電性があれば観察可能な大きさの地表面電位の変化が生じる可能性がある。それに伴い大気中の電界が変化することから、大気イオン電流の変化として検出できると考えられる（図1）。

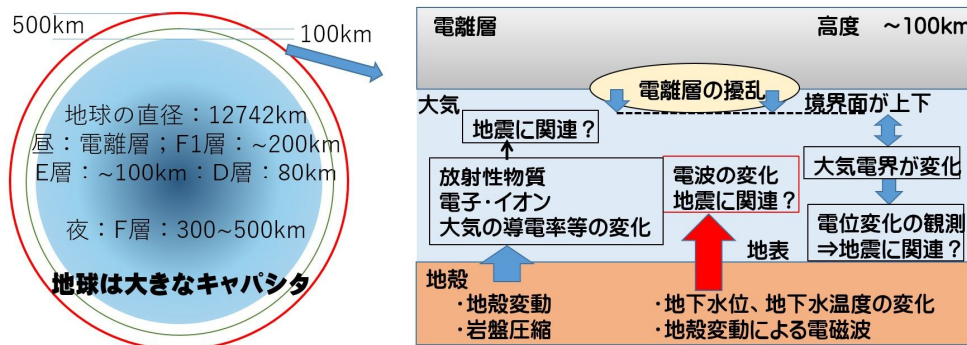


図1 地球の電気的なモデルと地表面電位検出原理

一方、国立工業高等専門学校（以下、「高専」と書く）は、北海道から沖縄まで全国に51校点在しているが、全体で1法人であるという大変特徴的な組織である。そのスケールメリットを利用して、各校に安価な「地表面電位変化計測装置」を設置できれば、地域的に分散したデータの収集が可能である。さらに各高専が提携している海外の教育機関（大学等）に依頼し、海外のデータも収集することができる（図2）。このような計測は、例えば九州の一部や山の付近で行われた例はあるが、広域で計測された例はない。このデータ収集のために、日本全国（一部海外）の電気的情報（電波や地表面電位の分布）を全く同時刻にある程度長期間収集する安価な装置を開発し、多くの高専に設置する。この結果を即時表示・解析するシステムを開発できれば、新しい災害予知（防災教育）システムにも利用できる可能性がある。

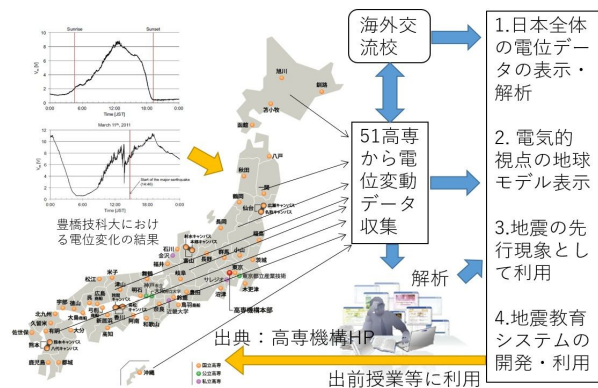


図2 本研究の概要

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、極めて微小な前駆的地殻変動を電気的に検出する安価なシステムを開発し、それを全国の高専に依頼してできるだけ多くの地域に設置する。これを用いて、日本全国の電気的情報を、全く同時刻に収集・表示する装置を開発する。これによって、地球を電気的な側面で可視化できるシステムを構築し、防災教育に活かすことが本研究の目標である。加えてこのデータが、近年頻発する日本における大規模地震災害の予測に活かさないかを評価・検討する。

### 3. 研究の方法

本研究は、大気中のイオンに起因する大気電界や空地電流を石川高専（石川県・津幡町）や佐世保高専（長崎県・佐世保市）、富山高専（富山県・射水市）、有明高専（福岡県・大牟田市）、大

分高専（大分県・大分市）、群馬高専（群馬県・高崎市）、鶴岡高専（山形県・鶴岡市）、釧路高専（北海道・釧路市）及び崇城大学（熊本県・熊本市）等の複数の観測点にて同時継続的にモニターし、波形について電流値の増減やピークの時系列などを比較することで地震の先行現象を科学的にとらえ予測に活かすための予備試験を行う。

(1)図3に示すような絶縁物(テフロン)製の支柱により支えられたステンレス電極および接地電極により構成される装置を作製する。ステンレス管は空き缶、絶縁棒は塩ビでも作ることが可能であるため、測定装置そのものは非常に安価に作製できる。

(2)ステンレス電極に同軸ケーブルを接続し、接地電極との間で発生する電圧をナノボルト電圧計で計測する。計測したデータを一定時間毎（1分～120分程度）に計測する。計測データをデータロガーに保存する。これを他高専の協力校に依頼し、できるだけ多くの地域でデータ収集ができるようにする。

(3)拠点校において各校のデータを収集し、日本を網羅する電位変化分布データを作製するとともにそれを表示（可視化）し、高専全体で電位変化を観測する。

(4)これらの結果に、地震のメカニズムや被害等に関する情報を加えた新しい工学教育システムを構築する。これを各校のカリキュラムや出前授業に加え、地震に関する工学的教育に利用する。また、可能であれば新しい災害予知(防災教育)システムとして利用できないか検証・検討する。

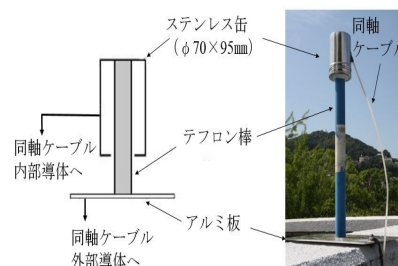


図3 測定装置

#### 4. 研究成果

##### (1)佐世保高専における実験結果

図4に佐世保高専で2020年7月3日の晴天時に計測された定常的な電位変化を示す。表1にはそのときの気象データ(下記時刻における3時間平均の天気、気温( )、湿度(%)、降水量(ml)、気圧(hPa))の概要を示す。長崎地区は2020～2022年度は比較的自然災害は少なく、この電位計測時期は、ほぼ一定の空間電位が計測された。自然災害のない時間帯における電位計測の結果から、この傾向は(2)石川高専、(3)崇城大学でも同様であることが確認されている。

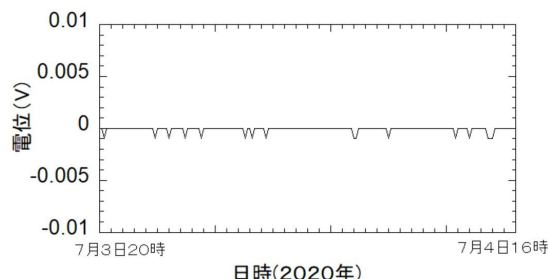


図4 佐世保高専で晴天時に計測された電位変化  
表1 図4の気象データ

時刻	3	6	9	12	15	18	21	24
天気	晴	晴	晴	曇	晴	曇	曇	曇
気温	19.8	19.1	24.6	27.3	27.8	26.8	25.1	23.5
湿度	91	94	72	62	61	63	71	80
降水量	0	0	0	0	0	0	0	0
気圧	1009.5	1009.8	1011.4	1010.9	1010.1	1009.9	1011.4	1011.7

図5は、2020年9月7日の台風接近時の電位変化を示す。表2にはそのときの気象データの概要を示す。表によると、午前0時から朝9時までの9時間に合計26.5mmの降雨があり現地の気圧も966～992hPaと非常に低いことが分かる。このことは大きな積乱雲が検出器の上に長時間滞在し、通過したことを示唆している。実験結果は台風接近時には、電位が正に大きく振れており、検出器が正に帯電することが分かった。これは、いわゆる誘電現象の効果によって、積乱雲下部のマイナス電荷によって正の電荷が引き寄せられたためだと考えられる。表示された電圧値は降雨時などと比べてやや小さいことが分かった。これは、積乱雲の大きさや帯電量、および気圧などの気象情報が関連していると考えている。図6より、降雪時には全体として負に帯電することが分かった。この日は長崎県には珍しく午前6mmの雪が降っていることが分かっている。通常、雪は正に帯電することが知られており、冬期に電線が帯電す

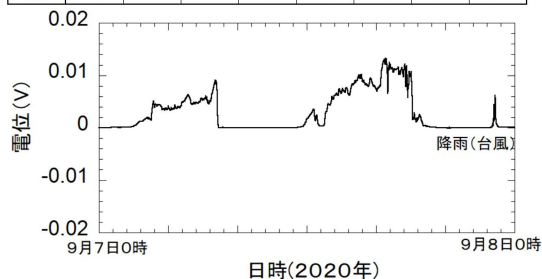


図5 佐世保高専で雨天時に計測された電位変化  
表2 図5の気象データ

時刻	3	6	9	12	15	18	21	24
天気	雨	雨	雨	曇	雨	晴	晴	晴
気温	26.3	25.4	24.6	26.4	26.4	26	25.6	25.4
湿度	91	91	91	77	78	80	80	81
降水量	13.5	12	1	0.5	0	0.5	0	0
気圧	966.3	980.9	992.1	997.8	1002.2	1005.7	1008.5	1009.5

ることも知られている。米カリフォルニア大学ロサンゼルス校らの研究チームらは、これを利用した摩擦帯電型ナノ発電機が開発され、実用化に向けた研究が進んでいる。本結果は、帯電した雪が近づいたことによって負電荷が誘電された結果、このような結果が得られたと考えられる。

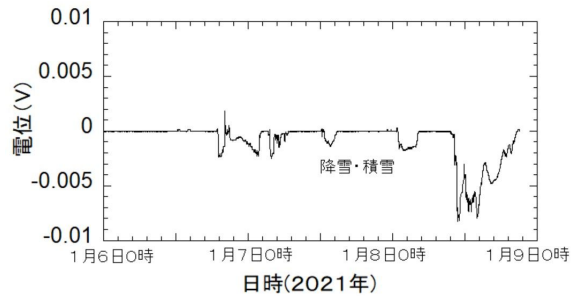


図6 佐世保高専で降雪時に計測された電位変化

表3 図6の気象データ

時刻	3	6	9	12	15	18	21	24
天気	雪	雪	雪	雪	曇	晴	雪	雪
気温	-1.5	-0.5	-0.7	0.6	0.7	-0.4	-1.6	0.5
湿度	73	60	62	61	51	64	92	67
降水量	0	0	0	0	0	0	0.5	2.5
気圧	1022.2	1021.2	1021.9	1020.6	1020.1	1020	1020	1019.8

### (2) 地震等に対する電位変化

図7には石川高専において佐世保高専と全く同型の電位計測装置を設置して計測を行った、2021年9月4日9時10分に、隣県（福井）で発生したM5.0の地震の前後の電位変化を示す。地震数日前から、正方向への電位変化が度々観測されている。この傾向は、豊橋技科大で計測された2011年の東北大震災前の電位変化にも酷似している。また、ここには示さないが2022年9月30日15時52分に群馬で発生したM4.4の地震の際に群馬高専における観測結果とも矛盾がないことが分かった。石川高専における計測結果から、震度3以上の地震（7回）のうち、電位が+10mV以上である時間が地震前に10時間以上あった件数は5回であることが分かった。よって、地震が起こるとき、高い確率で電位変化が起こることが分かる。ところが、電位が+10mV以上である時間が地震前に10時間以上あった件数は、22回であるため地震が起こる確率は23%と低い値であった。

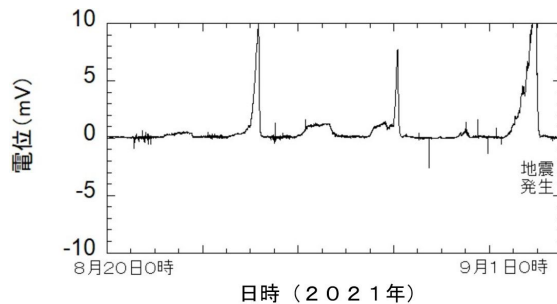


図7 石川高専における8月～9月の電位変化

表4 図7の気象データ

時刻	3	6	9	12	15	18	21	24
天気	晴	晴	晴	雨	雷	曇	曇	雨
気温	26.5	26	30.9	28.6	25	26.1	25.4	25
湿度	79	78	64	75	88	85	88	92
降水量	0	0	0	0	10.5	2	0	0
気圧	1009.2	1010.1	1010.6	1009.9	1010.6	1010.3	1011.5	1010.5

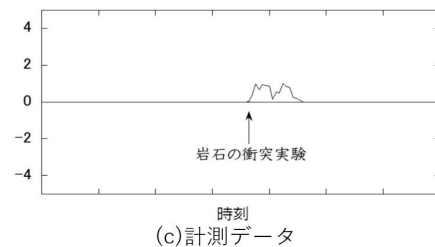
### (3) 教育装置への応用

これらの結果を基に、地震を電気的な観点から学ぶ装置の開発を検討した。まず、地震を模擬するために、プレートの接触と摩擦（剪断応力）を石と石をこすり合わせるとことで表現した。実際に石をこすり合わせたときの、計測装置の電位変化を図8に示す。結果から、こすり合わせることで、計測装置で計測できる程度の電位変化が起こることが分かる。この現象を小中学生に見せれば、今回のシステムがどうやって地震を予測できるのかを知ることができる。地震のメカニズムはいくつかの大陸に見立てた石をずらすことで再現できる。そこで簡易的ではあるが、地震発生とその時の電位変化を見せる装置を試作した。試作した装置による教育システムについて、佐世保高専の学生36名に説明し、簡易的ではあるが、アンケート調



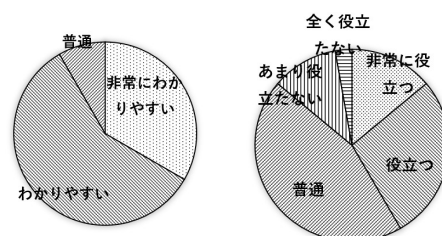
(a)利用した石

(b)計測装置



(c)計測データ

図8 地震教育装置のイメージ



(1)わかりやすいか (2)地震予測に役立つか

図9 アンケート結果

査を行った(図9)。(1)このシステムで説明する地震の原理はわかりやすいか、(2)このシステムで地震予知に役立つかと思うか、の2つのアンケート結果はいずれも良好なものであった。このことから、このシステムによって地震の原理がわかりやすいと感じている学生が多いことが分かる。一方において、このシステムで地震予知が可能であると感じた学生は半数程度であることが分かる。更にこのシステムに積乱雲と同じような、ある程度帯電した風船状の物体を利用できれば、積乱雲による電位変化が捉えられる教育システムを開発することができる。以上を考慮し、街の模型に今回開発した地震発生予知装置を取り付けた教育装置を考案した(図10)。現在までに完成していないが、地震に関する装置の作製には成功している。

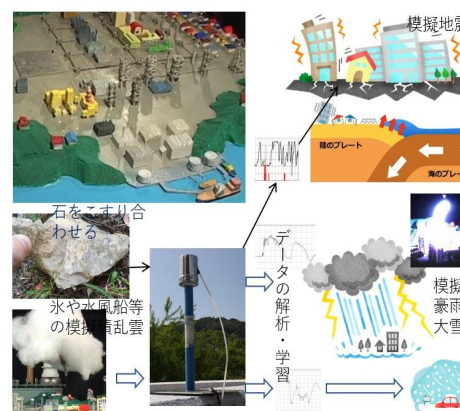


図10 教育装置のイメージ図

この装置に、これまでの筆者らが出前授業やオープンキャンパス事業で開発してきた人工落雷装置や人工降雪装置、人工オーロラ装置を組み合わせることによって、より好奇心を育むことができる装置作成を検討したい。

#### (4) 結論および今後の課題

プラズマプロセス中のプローブ計測に近い、簡易型の空間電位計測装置によって、地震予知にもつながる電位変動の計測を行った。研究結果から明らかになった主な内容は以下の通りである。

- 1) 地震前には、正の方向への優位な電位変化がある。これは、大地の剪断応力によって発生したイオンによるものと考えられる。
- 2) 落雷や大雨をもたらす積乱雲の接近でも、電位変化が起こる。落雷時や降雨時には電位は負になることがある。
- 3) 降雪時には負の方向への電位変化が起こる。
- 4) 地震の時の地面の応力を模擬した、石の剪断(こすり合わせ)でも同じような電位変化が起こった。
- 5) 地震前に電位変化はほぼ必ず起こるが、電位変化が起こると地震が起こる可能性は30%未満であることが分かった。

これらの変化は、地震や降雨時前の積乱雲の接近で起こるが、電位変化のパターンからどのような気象変動が起こるかは確実には分からなかった。また、電位変化は災害の必要条件ではあるが、十分条件ではないため、確実な予測には単純には利用できない。今後は、電位変化のパターンや計測装置の形状変化を工夫することと、これらのデータを多く蓄積し、AI等でパターン解析することによって、予測装置としての精度を上げられるか、検討していく。

一方において、上記4)にも示すような簡単な装置をくみ上げることで、地震や豪雨、豪雪、落雷を学習する装置として利用できる可能性がある。このような学習装置への応用はこれまでまだ行われていない。今後はこの学習装置としての応用を進めていきたい。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件/4年:査読付きのみ。)

- 1) 川崎仁晴、須田義昭、簡易型空間電位変動検出による自然災害予測とその教育への応用可能性の検討、電気学会論文誌A(基礎・材料・共通部門誌)、2021年141巻8号p.458-463.  
<https://doi.org/10.1541/ieejfms.141.458> 等

[学会発表](計11件/4年:本人発表文のみ)

- 1) 須田義昭、川崎仁晴、放電現象を考慮した異常気象予知に関する研究、第39回プラズマ・核融合学会 24Ap03 (2022.11.24)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 川崎仁晴、須田義昭	4. 巻 141 巻 8 号
2. 論文標題 簡易型空間電位変動検出による自然災害予測とその教育への応用可能性の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会論文誌 A	6. 最初と最後の頁 458-463
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejfms.141.458	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hiroharu Kawasaki, Tamiko OHSHIMA, Yoshihito YAGYU, Takeshi Ihara, Kazuhiko Mitsuhashi, Hiroshi Nishiguchi and Yoshiaki Suda	4. 巻 61
2. 論文標題 Preparation of functional thin films with elemental gradient by sputtering with mixed powder targets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 SA1019
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ac1488	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hiroharu Kawasaki, Tamiko Ohshima, Yoshihito Yagyu, Takeshi Ihara, Yoshiaki Suda	4. 巻 49
2. 論文標題 Preparation of Multielements Mixture Thin Film by One-Step Process Sputtering Deposition Using Mixture Powder Target	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Plasma Science	6. 最初と最後の頁 48-52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TPS.2020.3025306	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hiroharu Kawasaki, Tamiko Ohshima, Yoshihito Yagyu, Takeshi Ihara, Masanori Shinohara, Yoshiaki Suda	4. 巻 58
2. 論文標題 Preparation of Sn doped SiO <sub>2</sub> thin films by magnetron sputtering deposition using metal and metal oxide powder target	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SAAD04
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/1347-4065/aaea67	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroharu Kawasaki, Tamiko Ohshima, Yoshihito Yagyu, Takeshi Ihara, Masanori Shinohara, Yoshiaki Suda	4. 巻 59 (SA)
2. 論文標題 Preparation of two-dimensional thin films by backside irradiation pulsed laser deposition method using powder target	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SAAC01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab4e76	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 川崎仁晴、須田義昭
2. 発表標題 電磁気的な視点から考えた異常気象予知装置の開発
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 須田義昭、川崎仁晴
2. 発表標題 放電現象を考慮した異常気象予知に関する研究
3. 学会等名 第39回プラズマ・核融合学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroharu Kawasaki, Tamiko Ohshima, Yoshihito Yagyu, Takeshi Ihara, Yusuke Hibino, Yoshiaki Suda
2. 発表標題 Preparation of elemental gradient functional thin films by using mixture powder targets
3. 学会等名 MRM2021 Materials Research Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Kawasaki, T. Ohshima, Y. Yagyū, T. Ihara, Y. Hibino, Y. Suda
2. 発表標題 Multi-elements mixture thin film preparation process by sputtering deposition using mixture powder target
3. 学会等名 The 42nd International Symposium on Dry Process (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川崎仁晴、須田義昭
2. 発表標題 放電現象を考慮した異常気象予知に関する研究
3. 学会等名 第37回プラズマ・核融合学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川崎仁晴、須田義昭
2. 発表標題 電磁気的な視点から考えた異常気象予知装置の開発
3. 学会等名 令和2年度応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川崎仁晴、須田義昭
2. 発表標題 地球をコンデンサとして捉えた地震予知装置の開発
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 川崎仁晴, 須田義昭
2. 発表標題 地球をコンデンサとして捉えた地震予知装置の開発I
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroharu Kawasaki, Hiroshi Nishiguchi, Tamiko Ohshima, Yoshihito Yagyu, Takeshi Ihara, Yoshiaki Suda
2. 発表標題 Trial of Thin film preparation for preventing hydrogen embrittlement using sputtering deposition method using powder target
3. 学会等名 ISPlasma2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Kawasaki, T. Ohshima, Y. Yagyu, T. Ihara, M. Shinohara, Y. Suda
2. 発表標題 Preparing of multi-elements two-dimensional thin films by plasma process using metal and metal oxide powder targets
3. 学会等名 APSPT-11 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Kawasaki, T. Ohshima, Y. Yagyu, T. Ihara, M. Shinohara, Y. Suda
2. 発表標題 Preparation of several kinds of elements mixed thin films by plasma process using powder targets IV
3. 学会等名 DPS2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	川崎 仁晴  (Kawasaki Hiroharu)  (10253494)	佐世保工業高等専門学校・電気電子工学科・教授   (57301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------