

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：55401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06046

研究課題名(和文) テラヘルツ帯集積化高安定発振器の基礎研究

研究課題名(英文) Basic Research on High-stably-integrated Oscillator at THz Frequency Bands

研究代表者

黒木 太司 (KUROKI, Futoshi)

呉工業高等専門学校・電気情報工学分野・教授

研究者番号：30195581

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は利用周波数が飽和している昨今、電波と光波の谷間でその利用技術の確立が急がれているテラヘルツ波電磁波帯において、これまで我々が研究してきたNRDガイドミリ波集積回路技術を用い、レーダなどのテラヘルツ波帯フロントエンドを念頭に置いた低雑音かつ実用に供し得る出力電力を有し、常温で動作する連続波高安定発振器が、大掛かりな試作プロセスによらず、一般の町工場であっても試作できる技術を提供することであり、ガンダイオードの高調波発振を利用した逡倍型ミリ波発振器を試作した。またその高安定化を目的として、ハーモニックミキサ、とサーキュレータを装荷したPLL発振器の構成法に関しても検討した。

研究成果の概要(英文)：Since performance of the wireless systems will strongly depend on oscillators, the direct oscillation at operational frequency will be desired in the viewpoint of oscillation power. However, it is difficult to obtain the oscillation device with high power at deep millimeter wave frequencies, so that the multiplication type of oscillators have been studied. Such oscillators consist of the fundamental oscillator, the filters, and the nonlinear elements, and a simple test fixture is desired to evaluate the performance of these devices. With this in mind, a simple coaxial line-microstrip line transition has been proposed in this research. And moreover, the harmonic oscillation of the Gunn diode was demonstrated. Next, the PLL oscillator consisting of harmonic mixer, charge pump, and loop filter was devised by using the harmonic oscillator to stabilize the oscillation frequency.

研究分野：電磁波工学

キーワード：マイクロ波 ミリ波 テラヘルツ波

1. 研究開始当初の背景

利用周波数が飽和している昨今、電波と光波の谷間で未利用なテラヘルツ波電磁波帯が注目されている。特にこの周波数帯は各種センシングや医療関連での活用が期待されており、その利用技術の確立が急がれている。

2. 研究の目的

本研究の目的はテラヘルツ波電磁波帯において、これまで我々が研究してきた NRD ガイドミリ波集積回路技術を用い、レーダなどのテラヘルツ波帯フロントエンドを念頭に置いた低雑音かつ実用に供し得る出力電力を有し、常温で動作する連続波高安定発振器が、大掛かりな試作プロセスによらず、一般の町工場であっても試作できる技術を提供することにある。

3. 研究の方法

NRD ガイドガン発振器を基礎として、そのマウント構造を工夫し、ガン発振器の高調波発振現象を利用した発振器、及び通倍型発振器を検討する。またその際に共通して必要なマイクロストリップ線路-同軸線路変換器に関しても、簡便な構造をもとに試作する。さらに周波数安定化を目的として発振器の PLL 化をはかる。

4. 研究成果

[1]高調波発振型ガン発振器

ガンダイオードの通倍動作を活用し、100GHzを超える発振を得ることを目的として、ガンダイオードを格納する金属片の側面に、マイクロストリップ線路(MS)を装着し、これを遮断平行平板導波管内に横向きに挿入した構造の発振器を検討した。

図1に検討する発振器の構造を示す。汎用パッケージに封入されたガンダイオードは、ヒートシンクを兼ねた金属片内に横向きに格納されている。ガンダイオードへのバイアス電圧は金属片側面に装着した MS チョーク回路を通して印加し、ガンダイオードからの発振出力は、このチョーク回路と反対側に装着した MS 共振器を介して出力される。そこで、この MS 共振器の長さ L を変化させながら、ガンダイオードから負荷側を見込んだ入力インピーダンスを計算した。なお、ガンダイオード素子は図1(b)に示す厚み 0.165mm、比誘電率 9.8 のセラミック円柱内部に格納され、ガンダイオード素子のアノード電極は、同図(c)のように幅 40um の金リボンで十字上にセラミック円柱上部の金属蓋と接続される。ガンダイオード素子の形状は、半径 50um、高さ 15um の円柱形とし、厚み 4.4um の動作層は比誘電率 13 の GaAs を、厚み 8.6um の再成長層(n++)及び厚み 2um の基板層(n+)は導体を仮定した。図2は MS 共振器長 L が 1.0mm 及び 1.4mm 時の周波数に対する入力インピーダンス Zi(f)をスミスチャートに記したものであり、Zi(f0)=0 を満足する周波数 f0 が発振周波数を与える。この方法で計算した MS 共振器長 L に対する発振周波数の計算値を図3に示すが、本構造における発振の可能性が計算により示された

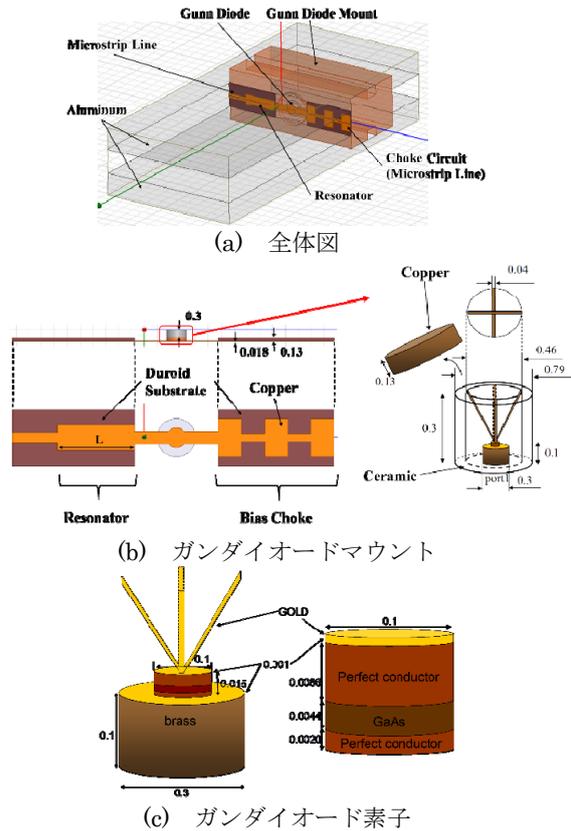


図1.ガン発振器の解析モデル(単位:mm)

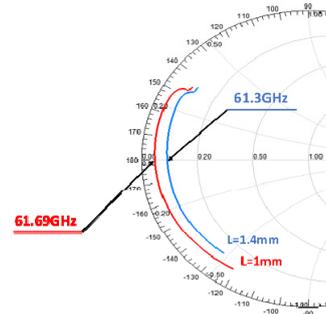


図2. 周波数に対する入力インピーダンスの計算値

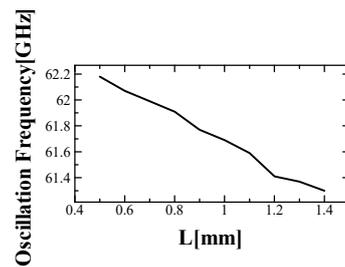


図3. MS 共振器長 L に対する発振周波数の計算値

[2]通倍型ガン発振器

三通倍型 105 GHz 帯 NRD ガイドガン発振器のシステム図を図4に示す。35 GHz 帯 NRD ガイドガン発振器の発振信号は NRD ガイドで出力されるため、MSL上に構成した低域通過フィルタおよび通倍回路へ発振された信号を入力するためにはまず NRD ガイドを同軸線路へ線路変換した。その後同軸線路をMSLに変換し、MSL上に設けた低域通過フィルタと通倍回路に伝送する。なお

低域通過フィルタは通倍信号が電源側に漏れるのを抑制するため設置した。通倍回路の出力部にはMSL-同軸線路-NRD ガイド線路変換器を設け、三通倍波は 105GHz 帯 NRD ガイドに出力される。一般的に通倍器の出力部には高域通過フィルタを設けるが、NRD ガイドは遮断周波数を持つ伝送線路であるため、105 GHz 帯 NRD ガイドは高域通過フィルタとして動作する。

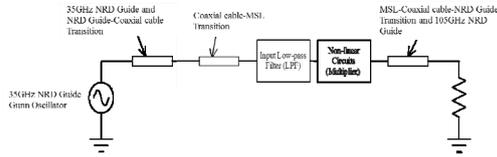
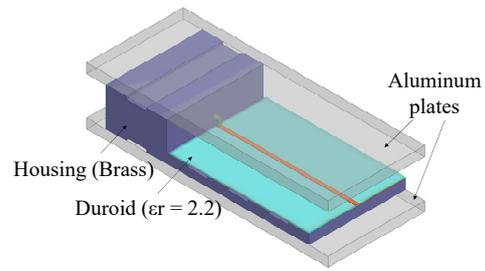


図4 三通倍型 105GHz 帯 NRD ガイドガン発振器システム図

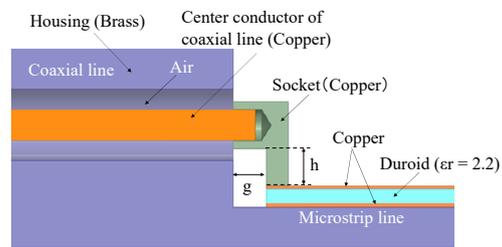
このシステムで重要となる同軸-マイクロストリップ線路変換器を簡便な構造で設計した。図5に同軸線路-マイクロストリップ線路変換器の概要を示す。中心導体を突出させたセミリジッドケーブルはL字型の金属マウントに格納され、中心導体はマイクロストリップ線路の中心導体端部に接続された小形ソケットに挿入される。セミリジッドケーブルの外導体にはねじ切りが施されており、かつその中心導体とソケットは圧着接触させるためこの部分は着脱が容易にできる構造である。なおL字形マウントとマイクロストリップ線路の接地面とを電気的に接続するため、L字形マウントにはマイクロストリップ線路の接地導体が接触する部分に $\lambda/4$ チョーク回路を設け、マウントと接地導体間を伝送する不要な伝送波を抑える工夫をした。この構造において、図5(b)に示す同軸線路とマイクロストリップ線路の両中心導体間距離 h 、及びL字形マウント側壁とマイクロストリップ線路間のギャップ g をパラメータとして、この変換器を35GHzで利用することを想定し、その散乱行列を計算した。図6はその結果であり、中心導体間距離は狭いほうが良く、かつギャップは共振特性による最適値があることが分かる。最適な h 、 g の値を固定して計算した変換器の周波数特性を図7に示すが、このような簡易構造であっても20dBのリターンロスが得られた。

以上の計算結果をもとに同軸線路-MSL 変換器の試作、評価を行なった。試作した線路変換器の全体図を図8に示す。

周波数に対する線路変換器の散乱行列を図9に示す。測定結果より 35GHz で良好な挿入損失、20dB 程度のリターンロスが得られ、計算値と似たような傾向を確認した。計算値と比較するとリターンロスが悪化しているが、これは MSL 製作時のエッチングによる導体表面の荒れ、また小型ソケット接続時の導電性エポキシの量などによる影響だと考えられる。

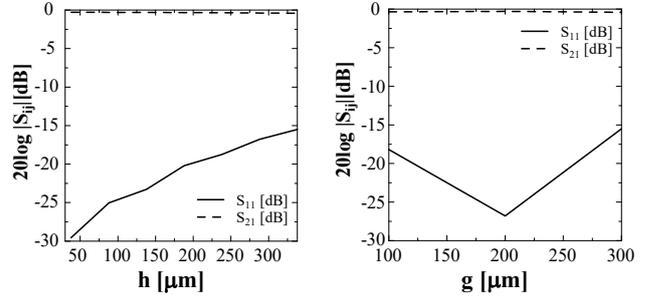


(a) 全体図



(b) 側面拡大図

図5. 同軸マイクロストリップ線路変換器の概要



(a) 高さに対する特性

(b) ギャップに対する特性

図6. 各パラメータに対する変換器の特性計算値

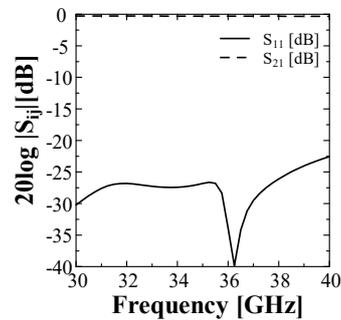


図7. 周波数に対する変換器の特性計算値

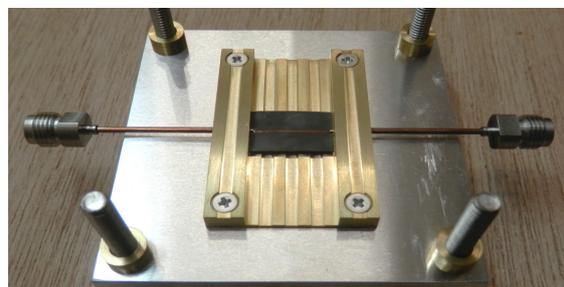


図8 試作した同軸線路-MSL 線路変換器全体図

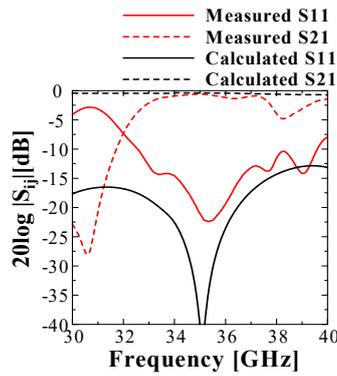


図 9 周波数に対する線路変換器の散乱行列 (黒: 計算値, 赤: 測定値)

[3] PLLNRD ガイドガン発振器

図 10 に PLL を利用した NRD ガイドガン発振器の構成を示す。このシステムを実現するため、ハーモニックミキサマウントを以下のように検討した。

NRD ガイドビームリードダイオードマウントに用いられる垂直ストリップ線路(VSL)の誘電体基板を高誘電率基板とすることで不要モードが生じるが、その不要モードを除去した構造のダイオードマウントを検討し、伝送波との整合性や小形化などの利点があることを示した。そこで本論では、このダイオードマウントを試作し、ショットキーバリアダイオード(SBD)を実装することで検波器を構成した。

今回検討した検波器は図 11 のような 57GHz の信号を NRD ガイドを用いて SBD へ入力するものである。厚さ 0.254mm、比誘電率 10.2 の Duroid 基板を用いたダイオードマウントに SBD を実装し、それを保護するガラス PTFE を用いたプロテクタを付加している。図 11 内に示すダイオードマウントの中心導体幅 W と SBD を配置するためのギャップ G を調整し、整合を取った。その計算結果を図 12 に示す。この結果より、 W を 0.5mm、 G を 0.1mm としてこのダイオードマウントを作成した。また、ガラス PTFE 基板を用いたダイオードマウントとの比較を図 3 に示す。これより、高誘電率基板を用いることで小形化できていることが確認できる。作成した高誘電率基板を用いたダイオードマウントに SBD を実装し、図 11 に示す検波器の反射係数周波数特性を測定した。その結果と図 12 に実線で示す計算結果とを比較したものを図 14 に示す。測定値の中心周波数は計算結果のそれより高周波数側へずれているが、両者に同様の傾向が確認でき、また測定値の方が計算値より 3dB 程度改善されていることが確認できる

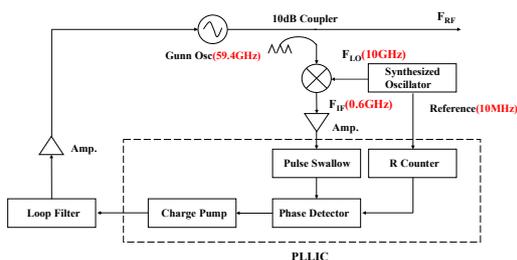


図 10 PLL 発振器の概要

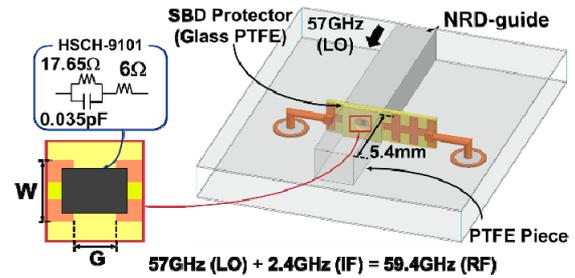
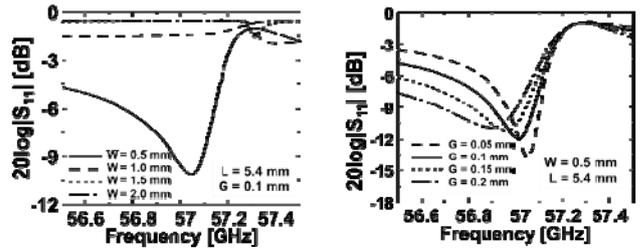


図 11. 検波器の全体図



(a). 中心導体幅

(b). ギャップ間隔

図 12. 諸寸法の調整

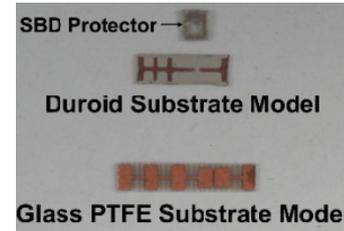


図 13. 高・低誘電率基板を用いたダイオードマウントの比較

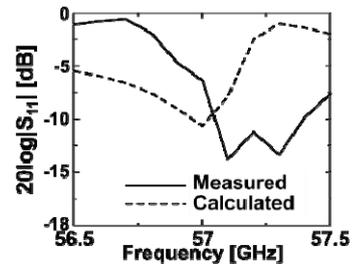


図 14. 反射係数の測定値と計算値

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

1. 黒木太司、宮本和哉、北林智、“低損失ミリ波集積回路用変形トリプレート型伝送線路 (招待論文)”、電子情報通信学会論文誌 C 分冊、Vol.J99-C No.12、pp.566-571 (2016年12月)
2. Kousei Kumahara, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Takeshi Yamakawa, “Measurement on Complex Permittivities of Hydrated Soil, Live and Dead Leaves, Woods, and Stones at Frequency Bands from LF to MF for Landslides Prognostication”, Trans. on IEEJ, Vol.128, No.2, pp.94-99 (Feb. 2018)
3. Tomoki Sakogawa and Futoshi Kuroki, “Considerations on Monopulse-Based Antenna System for Security Gates”, Trans. on IEEJ, Vol.128, No.2 pp.100-105 (Feb. 2018)

[学会発表] (計 68 件)

1. Futoshi Kuroki and Yoshihiko Kamo, "Consideration on Unloaded Q-factor of Guided Wave Type Resonators", Electronic Proceedings of IEEE AP-S and URSI Int. Symp., 1 page, (July, 2015 in Vancouver, Canada)
2. Futoshi Kuroki, Kengo Nakajima, Masanori Eguchi, and Takeshi Yamakawa, "Consideration on Grounded Coplanar Waveguide for RF-MEMS Integration", Electronic Proceedings of IEEE AP-S and URSI Int. Symp., 1 page, (July, 2015 in Vancouver, Canada)
3. Kengo Nakajima, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, and Takeshi Yamakawa, "Consideration on Mounting Structure for MEMS Switch at 60 GHz Band", Electronic Proceedings of Thailand-Japan MicroWave 2015, 2 pages, (August, 2015 in Bangkok, Thailand)
4. Kaiji Nakahara and Futoshi Kuroki, "Equivalent Circuit Model of Multi-layered Coils at Mediate Frequencies", Electronic Proceedings of Thailand-Japan MicroWave 2015, 2 pages, (August, 2015 in Bangkok, Thailand)
5. Yoshihiko Kamo and Futoshi Kuroki, "Evaluation Method of Transmission Loss Using Unloaded Q factor of Transmission Line", Electronic Proceedings of Thailand-Japan MicroWave 2015, 2 pages, (August, 2015 in Bangkok, Thailand)
6. Katsuyoshi Aoki, Kenji Shodai, Kouichi Yamano, and Futoshi Kuroki, "Consideration on Wireless Power Transmission Efficiency in KHz Frequency Bands", Electronic Proceedings of Thailand-Japan MicroWave 2015, 2 pages, (August, 2015 in Bangkok, Thailand)
7. Futoshi Kuroki, "Wireless Smart-city Technologies Launched from Asian Activities (Invited Speech in Plenary Session)", Electronic Proceedings of Thailand-Japan MicroWave 2015, 2 pages, (August, 2015 in Bangkok, Thailand)
8. Futoshi Kuroki, "Antenna Design and Systems for Smart-city Technologies", Electronic Proceedings of 4th Smart City Workshop 2015 in Malaysia, 2pages, (September, 2015 in Kuala Lumpur, Malaysia)
9. Mohd. Fadlee, A. Rasid, Ishak Aris, Yoshinori Kogami, Ken Takei, and Futoshi Kuroki, "Panel Discussion regarding "Toward International Collaboration of Smart City Technologies between Malaysia and Japan", Electronic Proceedings of 4th Smart City Workshop 2015 in Malaysia, 2pages, (September, 2015 in Kuala Lumpur, Malaysia)
10. Satoshi Kitabayashi, Yuki Kawahara, and Futoshi Kuroki, "Dielectric-tube-supported Metal Rod Transmission Line and its Application to Transition for 1mm Coaxial Connector at 80 GHz Band", Proceedings of the 43rd European Microwave Conference, pp.355-358 (September, 2015 in Paris, France)
11. Makoto Teramoto and Futoshi Kuroki, "Reflection and Band-stop Types of Self-injection Locked NRD Guide Gunn Oscillators Loading TEM Resonance Type Metal Rod Resonator Supported by PEEK Material at 60 GHz", Proceedings of the 43rd European Microwave Conference, pp.407-410 (September, 2015 in Paris, France)
12. Futoshi Kuroki and Satoshi Kitabayashi, "Transmission Characteristics of Dielectric-coated Metal Rod Transmission Line for A Flexible Transmission Medium at Millimeter-wave Frequencies", Electronic Proceedings of USNC-URSI National Radio Science Meeting B4-10 (January 2016 in Boulder, USA)
13. Futoshi Kuroki, "Antenna Design and Systems for Smart-city Technologies", Electronic Proceedings of IEEE National Symposium, S14-3, 2pages, (March, 2016 in Sendai, Japan)
14. Futoshi Kuroki and Satoshi Kitabayashi, "Transmission Characteristics of Dielectric-tube-supported Metal Rod Transmission Line as a Flexible Transmission Medium in Frequency ranges from DC to 100GHz Bands (Invited paper)", Electronic Proceedings of Thailand-Japan MicroWave 2016, 1 page, (June, 2016 in Bangkok, Thailand)
15. Keishi Okamura and Futoshi Kuroki, "Microstrip Line Type Spiral Antenna for M2M Applications in UHF Frequency Bands", Electronic Proceedings of Thailand-Japan MicroWave 2016, 1 page, (June, 2016 in Bangkok, Thailand)
16. Kaiji Nakahara and Futoshi Kuroki, "Radiation Characteristics of Microstrip Line Array Antenna in 60GHz Bands", Electronic Proceedings of Thailand-Japan MicroWave 2016, 1 page, (June, 2016 in Bangkok, Thailand)
17. Masanori Eguchi, Futoshi Kuroki, Hiroko Imasato, and Takeshi Yamakawa, "Development of Microwell Array for Dielectric Characterization of Circulating Tumor Cells," Electric Proceedings of World Automation Congress (WAS) 2016, 1570298117, 4 pages (July, 2016 in Puerto Rico)
18. Yoshihiko Kamo and Futoshi Kuroki, "Transmission Loss Evaluation of 94GHz NRD guide toward THz-band Dielectric Integrated Circuits", Electronic Proceedings of 2016 IEEE International Symposium On Radio-Frequency Integration Technology, 3pages, (August, 2016 in Taipei, Taiwan)
19. Kaiji Nakahara and Futoshi Kuroki, "Equivalent Circuit Model of Multi-layered Coils for Integrated Sensor Applications in Medium-wave Frequencies", Electronic Proceedings of 2016 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology, 3pages, (August, 2016 in Taipei, Taiwan)
20. Futoshi Kuroki and Kaiji Nakahara, "New Type of Array Antenna Using Microstrip Line Primary Radiator for Beam Scanning Applications at 60GHz", Electronic Proceedings of 2016 IEEE Phased Array and System Conference, 4 pages, (October, 2016 in Waltham, USA)
21. Katsuyoshi Aoki, Tomoki Sakogawa, Futoshi Kuroki, "An Antenna Having Wide Radiation Pattern but Narrow Beam in Operation Based on Monopulse System for Security Gate Applications", Electronic Proceedings of 2017 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS2017), 3 pages, (January, 2017 in Phoenix, Arizona, USA)
22. Kousei Kumahara, Kengo Nakajima, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, and Takeshi Yamakawa, "Measurement on Complex Permittivity of Hydrated Soil for Landslides Prognostication", Electronic Proceedings of 5th Smart City Workshop 2016 in Malaysia, 2 pages (March, 2017 in Kuala Lumpur, Malaysia)
23. Tomoki Sakogawa, Katsuyoshi Aoki, Futoshi Kuroki, "A New Type of Antenna System for Security Gate in Apparel Shops", Electronic Proceedings of 5th Smart City Workshop 2016 in Malaysia., 2 pages (March, 2017 in Kuala Lumpur, Malaysia)
24. Futoshi Kuroki, "Recent Activities on Millimeter-wave Applications in Our Laboratory", Electronic Proceedings of 5th Smart City Workshop 2016 in Malaysia, 2 pages (March, 2017 in Kuala Lumpur, Malaysia)

25. Kousei Kumahara, Kengo Nakajima, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, and Takeshi Yamakawa, "Consideration on Incidence and Reflection Characteristics of Hydrated Soil for Landslides Prognostication Systems Using Electromagnetic Waves", Electronic Proceedings of 11th European Conference on Antennas and Propagation, 4 pages (March, 2017 in Paris France)
 26. Tomoki Sakogawa, Katsuyoshi Aoki, Futoshi Kuroki, "A Technique to Narrow down Radiation Patterns of Broad Beam Antenna Operationally and Its Application to Security Gate to Prevent Shoplifting Based on Monopulse System", Electronic Proceedings of 11th European Conference on Antennas and Propagation, 4 pages (March, 2017 in Paris France)
 27. Kousei Kumahara, Kengo Nakajima, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Takeshi Yamakawa, "Measurement on Complex Permittivity of Hydrated Soil, Live and Dead Leaves, Woods and Stones for Landslides Prognostication" Electronic Proceedings of Thailand-Japan Microwave 2017, 2 pages, (June, 2017 in Bangkok, Thailand)
 28. Tomoki Sakogawa, Katsuyoshi Aoki and Futoshi Kuroki, "MonopulseBased Antenna System for Security Gate at UHF Band" Electronic Proceedings of Thailand-Japan Microwave 2017, 2 pages, (June, 2017 in Bangkok, Thailand)
 29. Futoshi Kuroki, "Recent Activities on Electromagnetic-Wave Applications Launched from Asian Activities (Invited)", Keynote Speech of the 12th International Conference on Innovative Computing, Information and Control, (Aug. 2017, Kurume, Japan)
 30. Kousei Kumahara, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Takeshi Yamakawa, "Propagation Modeling of Mountain with Flourishing Forest for Landslide Prognostication Using MF-band" Electronic Proceedings of Progress in Electromagnetics Research Symposium 2017, 1 page, (Nov. 2017 in Singapore)
 31. Keishi Okamura and Futoshi Kuroki, "Simple Type of Coaxial Line — Microstrip Line Transition at Millimeter-wave Frequencies" Electronic Proceedings of Progress in Electromagnetics Research Symposium 2017, 1 page, (Nov. 2017 in Singapore)
 32. Tomoki Sakogawa, Katsuyoshi Aoki and Futoshi Kuroki, "An Antenna System to Avoid False Operation for Shoplifting Prevention at 920 MHz", Electronic Proceedings of Progress in Electromagnetics Research Symposium 2017, 1 page, (Nov. 2017 in Singapore)
 33. Kousei Kumahara, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Takeshi Yamakawa, "Investigation of Forest on Lands for Landslides Prediction System at 1 MHz" Electronic Proceedings of Korea-Japan Microwave Workshop 2017, 2 page, (Dec. 2017 in Tokyo)
 34. Tomoki Sakogawa Katsuyoshi Aoki and Futoshi Kuroki, "Theoretical and Experimental Investigations of Chipless Sensor for Shaft Vibration of Turbine at UHFband", Electronic Proceedings of Korea-Japan Microwave Workshop 2017, 2 page, (Dec. 2017 in Tokyo)
 35. Keishi Okamura and Futoshi Kuroki, "Simple Type of Coaxial Line — Microstrip Line Transition at Millimeter-wave Frequencies" Electronic Proceedings of Korea-Japan Microwave Workshop 2017, 2 page, (Dec. 2017 in Tokyo)
 36. Kousei Kumahara, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Takeshi Yamakawa, "A Landslide Prognostication System Based on Bistatic Radar Technology Using AM Radio Waves", Electronic Proceedings of 2018 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS2018), 3 pages, (January, 2018 in Anaheim, California, USA)
 37. Tomoki Sakogawa and Futoshi Kuroki, "A Consideration on Influence of Interference Waves at Security Gate Using Monopulse System at UHF Band", Electronic Proceedings of 2018 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS2018), 3 pages, (January, 2018 in Anaheim, California, USA)
 38. 千田純一、黒木太司、"ミリ波帯 NRD ガイド給電ループアンテナ" 電子情報通信学会マイクロ波研究会資料、全 4 ページ (2018 年 3 月、滋賀)
 39. 内田悠斗、黒木太司 "高誘電率誘電体基板を用いた 60GHz 帯ビームリードダイオードマウントの検討"、電子情報通信学会マイクロ波研究会資料、全 4 ページ (2018 年 3 月、滋賀)
 40. 迫川智貴、黒木太司、"自己共振形インダクタ変位センサの温度特性に関する検討"、電子情報通信学会マイクロ波研究会資料、全 4 ページ (2018 年 3 月、滋賀)
 41. 黒木太司、"IoT ネットワークのワイヤレスリンク設計、～IoT システムを支える無線ネットワーク構築の実際 (マネージメント、システムアーキテクチャ、ハードウェア、オペレーション) ～"、電気学会全国大会シンポジウム講演、S15-7、全 2 ページ (2018 年 3 月福岡)
 42. 内田悠斗、黒木太司、"高誘電率誘電体基板を用いた 60GHz 帯垂直ストリップ線路の導波モードとチョーク回路への応用"、電子情報通信学会総合大会、C-2-51 (2018 年 3 月東京)
 43. 千田純一、黒木太司、"60GHz 帯無指向性水平偏波アンテナを目的とした NRD ガイド給電放射器検討" 電子情報通信学会総合大会、C-2-78 (2018 年 3 月東京)
 44. 迫川智貴、黒木太司、"平面スパイラルインダクタを用いたチップレス変位センサの検討"、電子情報通信学会総合大会、C-2-94 (2018 年 3 月東京)
- 他 24 件
- [図書] (計 0 件)
- [産業財産権]
- 出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)
- [その他]
呉高専ホームページ
<https://www.kure-nct.ac.jp/>
における「呉高専日誌」欄に研究成果を掲載し、広く国民へ研究成果を発信する。
- ## 6. 研究組織
- (1) 研究代表者
黒木 太司 (KUROKI, Futoshi)
呉工業高等専門学校・電気情報工学分野・教授
研究者番号：30195581