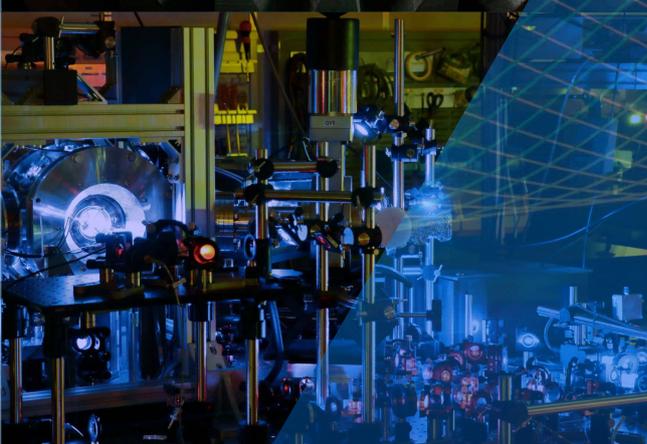


国立研究開発法人情報通信研究機構

# 電磁波研究所

RADIO RESEARCH INSTITUTE



国立研究開発法人  
情報通信研究機構  
National Institute of Information and  
Communications Technology



# 電磁波を使って、 より安心・安全な 新しい社会基盤を創り出す



研究所長  
中川 勝広

電波の利用により、様々な社会基盤が構築されていますが、それらを信頼できるものにする必要があります。社会の環境は様々な外的な要因によって常に変化・変動に晒されており、詳細かつ多岐にわたって状況を把握（センシング）する必要があります。また、現時点で、我々が予想・把握できない脅威は必ず起こり、その根源となる自然現象や人為的なトラブルを本質的に理解して解決する必要があります。

私たち電磁波研究所は、電波と光などの「電磁波」に関する研究開発と法定業務（パブリックサービス）を行っています。これまで取り組んで参りました研究開発を着実に進め、以下の取り組みにより『電磁波による、より安心・安全な新しい社会基盤の創出』の実現を目指します。

- 電磁波を使った気象、災害、宇宙環境をはじめとする社会の状況を正確に把握するセンシング技術の研究開発
- 科学技術の発展や現代社会の基盤維持に不可欠な、電磁波に関する基準や標準を構築するための技術の研究開発
- 電磁波を活用した萌芽的な研究開発や当研究所が有する電磁波技術のビジネス展開・国際連携・学際連携の推進

## Using electromagnetic waves to create a new, safer, and more secure social infrastructure

Various social infrastructures have been constructed using radio waves, and it is necessary to make them reliable.

The social environment is constantly changing and fluctuating owing to various external factors. There is a need to understand (sense) the situation in detail and in multiple ways. Threats that we cannot predict or grasp at this point are inevitable, and we need to understand and solve natural phenomena and human-caused problems that are the root causes of these threats.

We, the Radio Research Institute, are engaged in research and development and legal services (public services) related to electromagnetic waves, including radio and optical waves. We are steadily advancing the research and development of technologies we have been working on as follows.

- Research and development of sensing technologies that use electromagnetic waves to accurately assess the state of society, including weather, disasters, and the space environment
- Research and development of technologies to establish standards and norms related to electromagnetic waves are indispensable to the development of science and technology and the maintenance of the infrastructure of modern society
- Exploratory research and development utilizing electromagnetic waves and promoting business development of our technology, international collaboration, and interdisciplinary collaboration

We aim to realize "the creation of a new, safer, and more secure social infrastructure using electromagnetic waves."

Director General NAKAGAWA Katsuhiro

### 表紙写真の説明



## ビジョンとミッション Vision and Mission

電磁波研究所は、2021年度から5年間の第5期中長期計画における「電磁波先進技術分野」の研究開発を推進しています。主な研究課題は、電磁波を使いこなすための基盤研究と、電磁波を活用して生活圏を取り巻く多様な情報を収集し、解析・可視化する基礎研究です。これまで長年にわたり培った高い研究開発力や技術力を活かしつつ、社会に貢献し時代に応じた新たな価値の創造にも応えていくことが必要であり、その実現のために私たちは「ビジョンとミッション」をまとめました。ここに書かれた各取り組みに尽力し、中長期計画における目標を十二分に達成するとともに、新たなイノベーションの実現を目指します。

The Radio Research Institute will promote research and development in the "Advanced Electromagnetic Wave Technology Field" in the fifth mid- to long-term plan for five years from FY2021. The main research subjects are basic research for mastering the use of electromagnetic waves and basic research for collecting, analyzing, and visualizing diverse information surrounding our living environment using electromagnetic waves. While leveraging the advanced R&D and technological capabilities we have cultivated over the years, we must also contribute to society and respond to the creation of new values in response to the times. We have compiled our "Vision and Mission" to achieve this aim. We will strive to achieve the goals of our mid- to long-term plan and to realize new innovations through our efforts in each of the initiatives described here.



※Japanese version only

[https://rri.nict.go.jp/\\_assets/pdf/RRI\\_VisionMission.pdf](https://rri.nict.go.jp/_assets/pdf/RRI_VisionMission.pdf)

# 電磁波研究所

Radio Research Institute

<https://rri.nict.go.jp/>

電磁波研究所は3つの研究センター、5つの研究室から構成されています。各研究センターは、以下に示す活動を行い、Society 5.0の実現を目指します。

The Radio Research Institute consists of three centers and five laboratories. Each research center aims to realize Society 5.0 by conducting the activities as follows.

## 電磁波伝搬研究センター Radio Propagation Research Center

研究センター長（事務取扱）：中川 勝広  
Director General : NAKAGAWA Katsuhiro

### リモートセンシング研究室 Remote Sensing Laboratory

<https://www2.nict.go.jp/res/>

### 宇宙環境研究室 Space Environment Laboratory

<https://seg-www.nict.go.jp>

### 宇宙天気予報グループ Space Weather Forecast Service Group

## 総合企画室

General Planning Office

管理グループ（本部）  
Management Operations Group

管理グループ（沖縄）  
Okinawa Management Operations Group

研究所全体にわたる事務処理業務の統合的な実施や、効果的な広報活動、各種イベント活動の支援・全体調整を行います。管理グループを配置し、地方拠点や電波観測施設の業務も含めた効率的な業務推進を行います。

We conduct integrated administrative work for the entire institute and practical public relations activities, provide support for various event activities, and carry out overall coordination. Management groups are assigned to promote efficient operations at Koganei, Okinawa and radio observation facilities.

電磁波を用いて大気や地表面の状態を把握する技術や把握した情報を活用して大気や地表面を分析・予測する技術の研究開発を実施し、防災・減災など社会課題の解決に貢献します。また、宇宙環境の現況監視及び予測・警報を高度化する技術を開発し、電波を用いた社会インフラの高度利用や災害監視等における電波の安定利用に貢献します。

We will use electromagnetic waves to solve social issues such as disaster prevention and mitigation by conducting research and development of technologies to monitor and analyze the condition of the atmosphere and land surface, and predict natural disasters using the information obtained. We will also develop advanced technologies monitoring, forecasting, and warning the status of space environment, and contribute to the advanced use of radio waves in social infrastructure besides their regular use for disaster monitoring.

## 電磁波標準研究センター Electromagnetic Standards Research Center

研究センター長：渡辺 聡一  
Director General : WATANABE Soichi

### 電磁環境研究室 Electromagnetic Compatibility Laboratory

<https://emc.nict.go.jp>

### 標準校正グループ Calibration Service Group

### 時空標準研究室 Space-Time Standards Laboratory

<https://www.nict.go.jp/sts/>

### 日本標準時グループ Japan Standard Time Service Group

科学技術の発展や現代社会の基盤維持に不可欠な、電磁波に関する基準や標準の構築に貢献する活動を行っています。電磁環境研究室では、様々な機器やシステムにおける電磁的な影響や安全性を評価するための研究と業務を、また時空標準研究室では、正確な周波数と時刻を定めて安定に供給するとともにその技術を広く利活用するための研究と業務を推進しています。

We are engaged in establishing technical criteria and standards related to electromagnetic waves necessary for maintaining the infrastructure of modern society and for further development of science and technology in the two included laboratories. The Electromagnetic Compatibility Laboratory conducts research and provides public services relevant to the evaluation of electromagnetic interferences and safety between various devices and systems. The Space-Time Standards Laboratory conducts research and provides public services relevant to the generation, dissemination, and utilization of accurate time and frequency.

## 電磁波先進研究センター Applied Electromagnetic Research Center

研究センター長（事務取扱）：中川 勝広  
Director General : NAKAGAWA Katsuhiro

### デジタル光学基盤研究室 Digital Optics Laboratory

<https://rri.nict.go.jp/labo/dio.html>

ホログラムプリント技術（HOPTEC）による回折光学素子の製造及びプリントした光学素子の補償技術の確立を目指す研究開発を実施し、産業への応用を進めます。また、電磁波を活用した萌芽的な研究開発や当研究所が有する電磁波技術のビジネス展開・国際連携・学際連携を推進します。

The Applied Electromagnetic Research Center carries out research and development to produce diffractive optical elements using digital hologram printing and the establishment of precision optical measurement techniques. This center also promotes challenging and exploratory research, as well as industrial applications of electromagnetic technologies, international and/or interdisciplinary cooperation.



# リモートセンシング研究室 Remote Sensing Laboratory

室長 川村 誠治

Director KAWAMURA Seiji

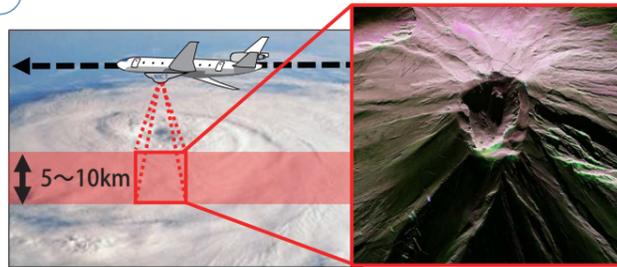
リモートセンシング研究室では、電磁波を用いたリモートセンシング技術による大気・地表面の状態把握と、その情報を活用した分析・予測等の研究開発を実施し、防災・減災をはじめとする社会問題解決に貢献します。

In the Remote Sensing Laboratory, we develop remote sensing technologies using electromagnetic waves to contribute to the prevention and mitigation of natural disasters.

## 航空機搭載SAR Airborne Synthetic Aperture Radar

夜間や天候が悪いときでも、上空から高い空間分解能 (<15cm) で広域 (観測幅: 5km以上) の地表面観測を行うことができる航空機搭載合成開口レーダーの研究開発を行っています。

We are conducting research and development of an airborne synthetic aperture radar that can be used for observing the Earth's surface with a large swath width (>5km) and a high spatial resolution (<15 cm), even at night or under adverse weather conditions.



15cm分解能で観測された富士山  
Mt. Fuji observed at 15 cm resolution

## 地上気象レーダー Ground-based Weather Radar

さまざまな周波数のレーダーを研究開発し、それらを組みあわせ、突発的気象災害をもたらす急速に発達する積乱雲の早期検知と発達メカニズムに関する研究を行っています。

We are conducting research and development of radars of various frequencies, and we combine them to study the early detection and development mechanism of rapidly developing cumulonimbus clouds that cause sudden meteorological disasters.

地上デジタル放送波の伝搬遅延による水蒸気量観測  
Observation of water vapor content due to propagation delay of terrestrial digital broadcasting waves

UHF 水蒸気

ウィンドプロファイラ  
Wind Profiler Radar

L帯 風

フェーズドアレイ気象レーダー  
PAWR & MP-PAWR  
Phased Array Weather Radar

X帯 雨

雲レーダー  
Cloud Radar

HG-SPIDER ES-SPIDER

W帯 雲

周波数 観測対象

## 光計測 Optical Remote Sensing

目への安全性が高い2μm帯の赤外線レーザー光を用いた遠隔計測技術の研究開発を行っています。特に、風と水蒸気を計測する差分吸収ライダーの研究開発に力を入れています。これらの技術は天気予報の予測精度向上に役立てられます。

We are developing active optical remote sensing techniques using eye-safe infrared lasers in the 2 μm region. We are focusing on the research and development of differential absorption lidars related to wind and water vapor measurements. The techniques developed will be used to improve weather forecasting.



波長2μm帯の単一周波数レーザー  
2 μm single frequency laser

水蒸気差分吸収ライダー  
Water vapor differential absorption lidar

## 衛星搭載レーダー Satellite-borne Radar

グローバルな地球環境問題の解決に貢献するためにJAXAと協力して降水や雲を詳細に観測できる衛星搭載レーダー (TRMM/降雨レーダー、GPM/二周波降水レーダー、EarthCARE/雲プロファイリングレーダー)を開発してきました。

We have been developing satellite-borne radars that can measure the global distributions of precipitation and clouds in cooperation with JAXA. The data obtained from those radars are important for devising solutions to global environmental problems. Precipitation radars for TRMM and GPM satellites have already been launched, and they provide long-term global precipitation information. A cloud profiling radar for the EarthCARE satellite is now being constructed.

TRMM PR precipRateNearSurface(1997/12-2015/03)

GPM Core DPR precipRateNearSurface(2014/03-2023/10)

TRMM衛星レーダー(左)とGPM衛星レーダー(右)から得られた全球の降水量分布  
Precipitation maps observed by TRMM's (left) and GPM's (right) radars

EarthCAREによる観測のイメージ  
Illustration of observation by EarthCARE

**ライダー** ライダー(Lidar: Light Detection and Ranging)は、パルス状の光(レーザー光)を大気中に発射し返ってくる光信号を受信・解析することで、物質までの距離や量、移動速度などを計る装置です。

**レーダー** レーダー(Radar: Radio Detection and Ranging)は、電波を利用して対象物(雨、雲、地表面など)までの距離や方向、量や形状、移動速度、性質などを調べる装置のことで。



# 宇宙環境研究室 Space Environment Laboratory

室長 津川 卓也

Director TSUGAWA Takuya

宇宙環境研究室では、宇宙環境の現況監視及び予測・警報を高度化する技術を開発し、社会インフラや宇宙利用システム等における電波の安定利用に貢献します。宇宙天気予報グループを設置し、電波の伝わり方についての観測と予報・警報の送信などの宇宙天気予報業務を着実に実施します。

The Space Environment Laboratory contributes to the stable use of radio waves in social infrastructure and space utilization systems by developing advanced technologies for monitoring, forecasting, and providing warning regarding the space environment.

## 宇宙天気予報業務 Space Weather Forecasting

24時間365日、休むことなく宇宙天気予報を発信するとともに、大規模な現象や特に地球や社会インフラに大きな影響が出る可能性がある現象が発生した際には、臨時情報も発信しています。

We are monitoring space weather events and delivering forecasts 24 hours a day and seven days a week. When solar, geomagnetic, and ionospheric events occur and are expected to markedly affect the Earth and social infrastructure, alert information is also issued.



## 電離圏観測・予測技術 Ionospheric Observation and Forecasting Technology

航空運用や衛星測位、電波伝搬に影響を与える電離圏変動の監視や数値予測の高度化・高精度化に向けて、リアルタイム電離圏観測技術や大気圏電離圏シミュレーション及びデータ同化技術、電波伝搬可視化技術等の研究開発に取り組んでいます。

We are conducting research and development of real-time ionospheric observation technology, atmosphere-ionosphere simulation and data assimilation technology, and radio propagation visualization technology for monitoring and forecasting ionospheric variations that affect aviation operations, satellite positioning, and radio propagation.

大気圏電離圏シミュレーション・データ同化  
Atmosphere-ionosphere simulation and data assimilation

電波伝搬シミュレータ  
Radio propagation simulator

イオノゾン定常観測  
Ionosonde observation

GNSS全電子数観測  
GNSS-TEC observation

## 磁気圏観測・予測技術 Magnetospheric Observation and Forecasting Technology

太陽・太陽風と電離圏をつなぐ磁気圏の変動を把握し、衛星運用や電離圏予測に資するため、地上磁場観測や宇宙環境データベースの展開とともに、放射線帯予測モデルや磁気圏モデルの研究開発に取り組んでいます。

Toward understanding of magnetospheric processes and contributing to satellite operations and ionosphere forecast, we operate ground-based geomagnetic field observation and space environment databases for the Japanese meridian, and conduct research and development of radiation belt prediction and magnetosphere simulation technologies.

衛星表面帯電評価システム SECURES  
GOES衛星

オーロラ予測マップ  
Auroral prediction by simulation

ひまわりSEDAデータビューア  
Himawari SEDA data viewer

HIMAWARI SEDA DATA VIEWER

## 太陽/太陽風観測・予測技術 Solar and Solar Wind Observation and Forecasting Technology

宇宙天気早期警戒・現況把握・予報を実現するため、太陽嵐発生迅速な検出のための観測や、太陽嵐の地球への影響を予測するシミュレーション等の研究開発に取り組んでいます。

To realize early warning, nowcasting, and forecasting of space environment disturbances, we are performing research and development, including the observation of solar storms for the early detection of their occurrence, and a simulation system to predict impacts of solar storms.

太陽・太陽風観測システム  
Solar and solar wind observation system

太陽風・太陽嵐シミュレーション  
Solar wind and solar storm simulation

航空機被ばく推定システム  
WASAVIES

## 衛星搭載センサ開発技術 Development of Space Environment Monitoring Sensors for Spacecraft

次期気象衛星「ひまわり10号」に搭載する宇宙環境センサ(RMS)の開発を行っています。打ち上げ・データ提供開始は2029年の予定です。

Radiation Monitors for Space weather (RMS) is under development as a hosted payload of the next Japanese geostationary meteorological satellite, Himawari-10, planned to be launched in 2029.

**宇宙天気** 宇宙環境は、太陽表面で起きる爆発(太陽フレア)などによって乱されることがあります。その際、衛星運用・通信・放送・電力・航空機運行などが影響を受けます。このような社会に影響を与える宇宙環境の変動を「宇宙天気」と呼びます。

# EMC 電磁環境研究室

## Electromagnetic Compatibility Laboratory

室長 後藤 薫

Director GOTOH Kaoru

電磁環境研究室では、高度化した通信機器と電気電子機器の相互運用の実現や、新たな無線システム等の安全・安心な利用を実現するために必要となる電磁的両立性を確保するための研究開発を実施します。無線設備の機器の較正を実施するグループを配置します。

In the Electromagnetic Compatibility Laboratory, we conduct research on EMC as well as calibration services to maintain the EM environment.

### 電気電子機器等からの電磁妨害波の測定技術

Measurement Technologies for EM Disturbances

電気電子機器と無線通信の共存を実現するために、電磁妨害波を正確に測定する方法、電磁妨害波の発生メカニズムや通信への影響、電波の有効利用に必要な電磁雑音の許容値の定め方などに関する研究開発に取り組んでいます。

We are researching how to accurately measure EM disturbances, understand their generation mechanism and impact on communications, and determine the limit of EM disturbances necessary for the effective use of radio waves, aiming to enable the coexistence of electronic and electric appliances with wireless communication.



電波暗室と反射箱におけるLED照明から放射される電磁雑音の測定風景  
Measurement of EM noise radiated from LED lighting in anechoic and reverberation chambers

### 較正・EMC評価のための高精度電磁界計測技術

EM Measurement Technologies for Calibration

低周波からミリ波・テラヘルツ波に至るまで、電波を高精度に計測するための技術を研究しています。研究成果は較正サービスに活用されています。

Research on high-precision measuring techniques for radio waves is conducted from low frequencies to millimeter waves and the terahertz band. The results are used in our calibration service.



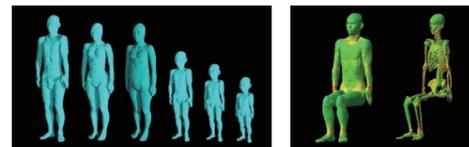
広帯域パルス伝送装置  
Transmission system for broadband pulse waves

### 人体に対する電波ばく露評価技術

EM Wave Exposure Assessment Technology for Human Bodies

電波防護指針に基づく適正かつ健全な電波利用環境を構築するために、電波に曝された人体のばく露評価技術、さらに携帯電話等からの電波が防護指針に適合しているか評価する技術に関する研究を行っています。

To establish an appropriate environment for sound radio wave usage in compliance with RF protection guidelines, we are conducting research on technologies for evaluating human exposure to radio waves and technologies for evaluating whether radio waves from mobile phones comply with the guidelines.



数値人体モデル(成人男女、妊娠女性、小児)と電波ばく露評価例  
Computational human models and example of numerical dosimetry results

### 電波ばく露レベルモニタリング技術

Technology for Monitoring the Level of Exposure to Electromagnetic Fields

実環境での電波ばく露レベルを明らかにするために、電波ばく露レベルモニタリング手法の研究を行っています。また測定結果を蓄積するとともに、データの活用についても検討しています。

Research on radio wave exposure level monitoring methods is conducted to clarify radio wave exposure levels in real environments. We are also accumulating measurement results and investigating how the data can be utilized.



電波レベル測定専用車の測定風景と結果例(東京)  
Vehicle for EMF measurement and example of results of measurements in Tokyo

### 無線用測定器等の較正サービス

Calibration Service of Measuring Instruments for Radio Equipment

電波法に基づく指定較正機関及び登録検査等事業者用測定器の較正をはじめ、計量法に基づく周波数標準器の校正(jcss)、製品評価技術基盤機構の認定制度に基づく較正(ASNITE)などを実施しています。

We provide calibration services based on the Radio Act (for measuring instruments for the designated calibration agencies and registered inspectors), the Measurement Act (jcss for the Frequency Standard), the Accreditation System of the National Institute of Technology and Evaluation (ASNITE), and others.

電磁的  
両立性  
(EMC)

機器やシステムが、周囲の他の機器・システムに対しても電磁的な悪影響を与えず、また他の機器・システムからの電磁的な影響を受けずに機能する能力。

較正

電波法に基づいて、測定器に表示された値が、NICTの標準器の値にどの程度一致しているかを、標準器からのずれを測定して評価すること。

# STS 時空標準研究室

## Space-Time Standards Laboratory

室長 井戸 哲也

Director IDO Tetsuya

時空標準研究室では、高精度な時刻や周波数及び位置同定に関する技術の研究開発を行います。また日本標準時グループを配置し、日本標準時業務(周波数標準値の設定・標準電波の発射・標準時の通報)を実施します。

In the Space-Time Standards Laboratory, we develop technologies relevant to accurate standards of time, frequency, and positioning. The laboratory includes Japan Standard Time Service Group, where standard frequency as well as standard time are provided to the society with high reliability.

## 国家標準の基盤整備／最先端計測技術の開拓を目指して

Infrastructure of the national standards/Exploration of the most advanced measurement technology

### 高精度な周波数標準器(原子時計)を作る技術

Technology for Atomic Frequency Standards

1秒の長さは、原子遷移に基づいて定められ、原子時計によって正確に実現できます。超高精度な原子制御技術・周波数計測技術の研究開発により高精度な原子時計の開発を進めると共に、高精度な標高測定センサ等光原子時計の応用技術も検討しています。

The unit of time, second, is defined based on atomic transition, and atomic clocks make use of such transition to realize the one second as defined. Precision technologies to control atoms as well as to measure frequencies enable the development of highly accurate atomic clocks. In addition, we study the application of optical clocks, including geodetic sensors for precise height determination.



Cs一次周波数標準器  
Cesium primary frequency standard



Sr光格子時計  
Strontium optical lattice clock



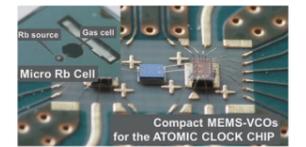
In<sup>+</sup>イオントラップ光時計  
Optical clock based on trapped indium ions

### 正確な時刻や周波数を無線通信に活かす技術

Precise Time and Frequency for Mobile Communications

Beyond5Gもしくは6Gと言われる次世代無線通信技術においては、より厳密な時刻同期やより正確な周波数が求められ、その上で高信頼低遅延通信や精密な位置出し技術が確立することが期待されています。これら新技術の発展を実現すべく、当研究室が開発してきた様々な時刻周波数標準技術を開発させ、1) 近距離の簡便な通信で高精度な時刻同期や位置出しを行う近距離無線双方向時刻比較技術(Wi-Wi)、2) 原子時計を小型化して多様な機器に搭載可能とする原子時計チップ技術(CLIFS)、3) 複数の原子時計を組み合わせてより安定な時系を生成するクラスタ時系技術、等の研究開発を行っています。

The next-generation wireless communication technology, called Beyond5G or 6G, requires more precise time synchronization and more accurate frequencies, on which ultrahigh-reliability and low-latency communication as well as precise positioning are expected to be established. Toward this goal, we are conducting R & D on 1) wireless two-way interferometry (Wi-Wi), which performs high-precision time synchronization and precise positioning via convenient short-range communication, 2) Chip-Level Integrated Frequency Standards (CLIFS), which enable the miniaturization of atomic clocks mounted on various devices, and 3) cluster timescale technology, which generates a more stable timescale by combining multiple atomic clocks.



小型原子時計  
Chip-level integrated frequency standard



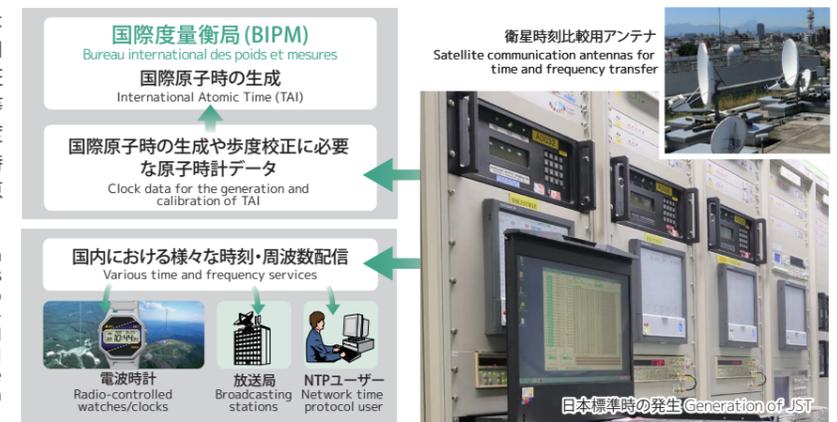
ワイワイ(Wi-Wi) モジュール  
Wi-Wi modules

### 日本標準時を作り利用する技術

Japan Standard Time (JST) and Application Services

原子時計群から日本標準時(JST)を生成し、様々な手法で国内に供給しています。生成した時刻や周波数は、電子書類の改ざんを防ぐための時刻認証や計測機器の発振周波数を校正するサービス等にも活用されています。また、衛星を介した高精度な時刻周波数比較技術によってJSTと協定世界時の時刻比較がなされ、同時に比較データは国際原子時の生成や校正にも貢献しています。

NICT generates Japan Standard Time (JST) from atomic clocks and disseminates it through various methods. Accurate time and frequency are also provided in time stamping and frequency calibration services. JST is compared with Coordinated Universal Time (UTC) through satellite-based high-precision time-frequency comparison. The comparison also contributes to the generation and calibration of international atomic time.



秒の定義と  
日本標準時

1967年から1秒は、特定の条件にあるセシウム原子が吸収する電波の周波数(約9GHz)で定義されています。NICTではセシウム原子時計・水素メーザー・光格子時計等の原子時計を多数組み合わせ、世界共通の標準時(協定世界時UTC)に準拠する時刻UTC(NICT)を発生させ、さらにそれを9時間進めて日本標準時(JST)としています。



# デジタル光学基盤研究室

Digital Optics Laboratory

室長 大井 隆太郎

Director OI Ryutaro

デジタル光学基盤研究室では、ホログラムプリント技術 (HOPTEC) による回折光学素子の製造及びデジタルホログラフィによる現実世界の精密光学測定技術の確立を目指す研究開発を実施し、得られた成果は産業への応用を進めます。

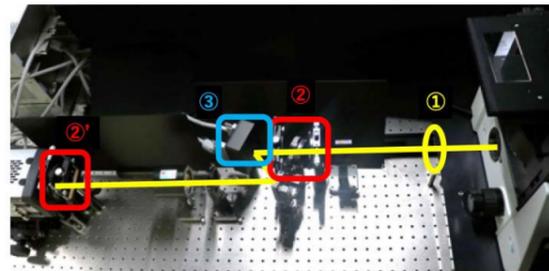
The Digital Optics Laboratory carries out research and development aimed at the production of diffractive optical elements using hologram printing technology (HOPTEC) and the establishment of precision optical measurement techniques for the real world using a digital holography method, the results of which are applied to industry.

## 自然な光によるホログラフィ顕微鏡

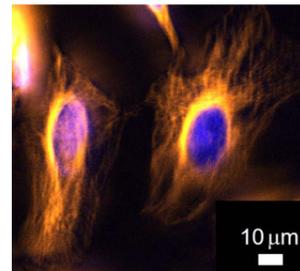
Holographic Microscopy with Natural Light

NICTではデジタルホログラムによる精密光学測定技術の研究開発を行っています。ホログラムデータに関する計算量の適正化や撮像系の高S/N化・低ノイズ化を行い、顕微鏡等への応用を進めています。蛍光などの微弱な光や位相の揃っていない自然な光をホログラムとして記録する、ホログラフィ顕微鏡の適用範囲を広げます。

NICT has been conducting research and development of digital hologram-based optical measurement technology. This technology is improved and applied to microscopy by optimizing the amount of computation related to hologram data and by improving the S/N and noise reduction in imaging systems. NICT will expand the applicability of holographic microscopy, with which weak light such as fluorescence and natural light is recorded as an incoherent hologram.



- ① 試料の拡大像が結像する位置
- ②' 自然な光のホログラムを生成する光学デバイス
- ③ 位相変調のための液晶素子
- ① the position where the enlarged image of the sample is formed,
- ②' optical devices that generate a hologram of natural light, and
- ③ a liquid crystal device for phase modulation.



細胞のホログラム撮影の例  
Example of holographic imaging of a cell

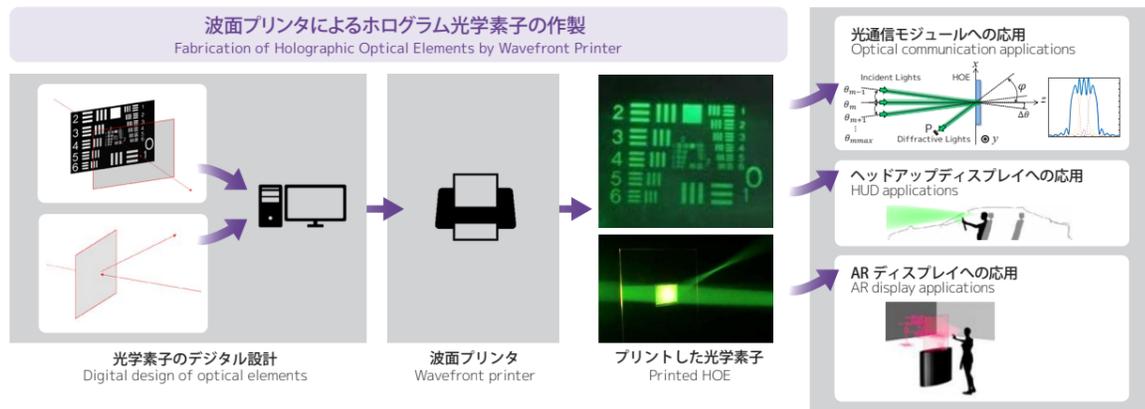
自然な光によるホログラム顕微鏡の光学系  
Natural light holographic microscope optics

## ホログラムプリンタ (ホログラムプリント技術)

Hologram Printer (HOPTEC)

ホログラムプリンタはHOE (Holographic Optical Element) と呼ばれる光学素子をプリントするためのプリンタでNICTが開発したものです。複雑な光学特性を持つ素子を波動光学に基づいて計算・記録します。私たちは安定的な回折光学素子の製造技術・補償技術の確立を目指します。プリントした光学素子は、Beyond 5G時代を支える高効率・安価な光通信用モジュール、三次元車載ヘッドアップディスプレイ、次世代ARシステムをはじめ、様々な分野へ応用を促進します。

The hologram printer is developed by NICT to print holographic optical elements (HOEs). Elements with complex optical properties are calculated and recorded on the basis of wave optics. Our goal is to establish stable manufacturing and compensation technologies for diffractive optical elements. The printed optical elements will have various applications, including highly efficient and inexpensive optical communication modules that support the Beyond 5G era, three-dimensional in-vehicle head-up displays, and next-generation AR systems.



### ホログラフィとホログラム

光の干渉を使って干渉縞を記録し、光の回折を使って光を再生する技術をホログラフィと呼びます。また干渉縞が記録された媒体 (メディア) をホログラムと呼びます。ホログラフィは光を波面の精度で記録再生でき、光学素子の開発に応用が期待されています。



# 沖縄電磁波技術センター

Okinawa Electromagnetic Technology Center

技術センター長 灘井 章嗣

Director NADAI Akitsugu

## 技術センターの概要

Outline of the Technology Center

沖縄電磁波技術センターでは、地球温暖化をはじめ地球規模の気候変動に大きく関与する大気・海洋相互作用のメカニズム解明への寄与を目的として、海流・上空風・降雨を計測するためのリモートセンシング技術の研究開発を行ってきました。あわせて、大宜味電波観測施設で電離層観測を行っています。2014年にはフェーズドアレイレーダー・ライダー融合システム及び空間光通信設備が設置されました。

The Okinawa Electromagnetic Technology Center has been researching and developing remote sensing technology for measuring ocean currents, winds, and rainfall, with the aim of contributing to the elucidation of the mechanisms of the atmosphere-ocean interaction, which is greatly involved in global climate change, including global warming. We are also conducting ionospheric observations at the Ogimi Radio Observation Facility. In 2014, a phased array radar/Doppler lidar fusion system and spatial optical communication facility were installed.

## 技術センターのあゆみ

History of the Technology Center

沖縄電磁波技術センターは、1972年5月沖縄県の日本復帰に伴い、米国海洋大気局 (NOAA) が電離層観測を行っていた北谷町の施設を引き継ぐ形で、郵政省電波研究所 (現国立研究開発法人情報通信研究機構) 沖縄電波観測所として発足しました。以降、当センターでは継続して電離層観測を実施しています。加えて、1990年代から電波資源の有効活用及び地球環境計測技術の開発を目的とした海洋レーダー、ウインドプロファイラ、降雨レーダー等の研究開発を行ってきました。

The Okinawa Electromagnetic Technology Center was established as the Okinawa Radio Observatory of the Radio Research Laboratory of the Ministry of Posts and Telecommunications (currently NICT) following the reversion of Okinawa to Japanese sovereignty in May 1972, taking over the facilities in Chatan-cho where the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) had been conducting ionospheric observations. Since then, the Technology Center has continued to conduct ionospheric observations. In addition, since the 1990s, the Technology Center had conducted the research and development of ocean radars, wind profilers, and rain radars to effectively utilize radio resources and develop global environmental measurement technologies.

## 施設紹介 Information



沖縄電磁波技術センター  
〒904-0411  
沖縄県国頭郡恩納村字恩納 4484  
TEL 098-982-3705

Okinawa Electromagnetic Technology Center  
4484, Aza-Onna, Onna, Kunigami, Okinawa 904-0411 Japan  
Tel. +81-98-982-3705



パラボラアンテナ (電波地上局)  
Parabolic antenna of RF ground stations



フェーズドアレイ気象レーダー  
Phased Array Weather Radar



大宜味電波観測施設 (大宜味村)  
Ogimi Radio Observation Facility



光アンテナ (光地上局)  
Optical antenna of optical ground station

電磁波研究所が2023年度に発表したプレスリリースの一部を掲載します。全文はNICTのwebサイトでご覧いただけます。(二次元コードをご利用ください)

※研究室名、肩書きなどは2024年4月現在のものです。

## 水蒸気の流れを捉える差分吸収ライダーの開発に成功

～水蒸気と風の同時観測を実現、豪雨発生場所の予測精度向上へ～

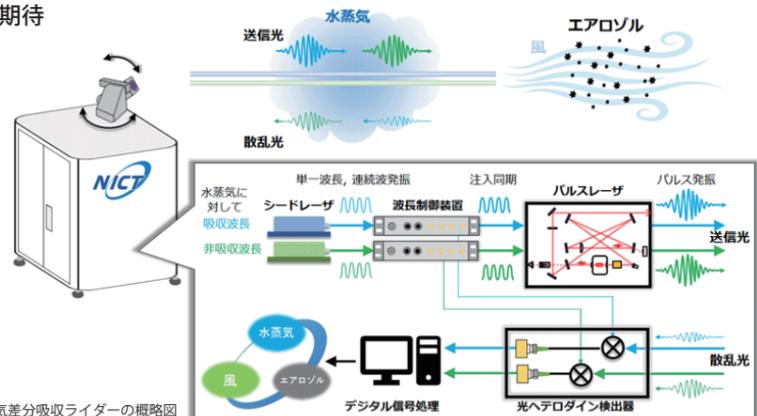
RES リモートセンシング研究室

2023年4月25日発表  
研究マネージャー 岩井 宏徳



- ・昼夜を問わず、あらゆる方向の大気中の水蒸気と風を同時観測可能な水蒸気差分吸収ライダーを開発
- ・NICT独自のレーザー光の波長制御技術により、高精度な水蒸気観測を実現
- ・豪雨発生場所の予測精度向上に大きく貢献すると期待

NICTは、電磁波研究所において、昼夜を問わず、あらゆる方向の大気中の水蒸気と風を同時に観測可能な差分吸収ライダーの開発に成功しました。NICT独自のレーザー光の波長制御技術を使って開発した装置を用いることにより、水蒸気量を誤差10%以下で観測する技術を実証しました。この水蒸気と風の観測値を天気予報の数値予報モデルに取り入れて解析を進めることで、線状降水帯などの発生場所の予測精度向上に大きく貢献することが期待されます。



今回開発した水蒸気差分吸収ライダーの概略図

## トンガ沖海底火山噴火がもたらした電離圏の穴

～最先端の観測から見た地圏と宇宙圏のつながり～

SPE 宇宙環境研究室

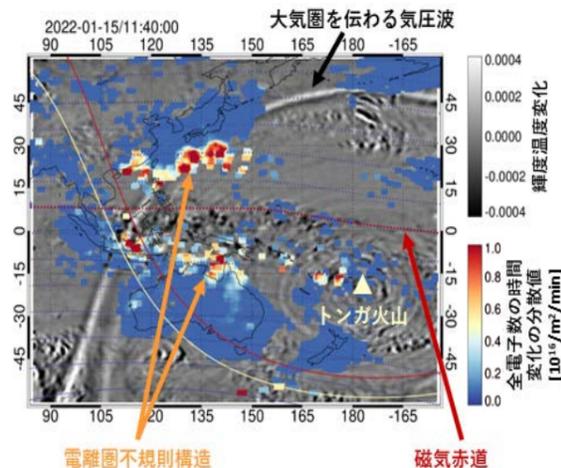
2023年5月22日発表  
主任研究員 西岡 未知  
主任研究員 Perwitasari Septi



- ・南太平洋トンガ沖の海底火山噴火後に、同心円状の気圧波の到来に関連した電離圏電子密度の不規則構造の観測に成功
- ・電波障害を起こす宇宙天気現象が、太陽フレアなどの太陽活動だけでなく、大規模噴火等の地表の現象にも起因することを明示する事例

国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学、NICTほかの研究グループは、全球測位衛星システム(GNSS)、気象衛星ひまわり、ジオスペース探査衛星「あらせ」、電離圏観測機器などのデータを解析し、南太平洋トンガ沖海底火山の大規模噴火に伴う同心円状の気圧波が引き起こした電離圏電子密度の不規則構造の観測に成功しました。

観測データにおいて、通常よりも1~2桁程度、電子密度が急減する多数の電離圏の穴が日本上空で観測され、探査衛星「あらせ」の観測によってこの電離圏の穴が2,000 kmの宇宙空間まで伸びていることが分かりました。また、電離圏の穴の形成は、電離圏の高度上昇が原因であったこと、その高度上昇は火山噴火による気圧波の到来よりも約1-2時間も前に起こっていたことが分かりました。本研究は、このような火山噴火に伴って発生した大気変動による電離圏の穴の生成機構を明らかにしました。また、電離圏の穴は電波障害の原因であり、宇宙天気の観点で予報が必要な項目です。電波障害を起こす宇宙天気現象は、太陽フレアなどの太陽活動に起因することが広く知られていますが、本研究結果は、宇宙天気現象が大規模噴火等の地表の現象にも起因することを明示する重要な事例です。



トンガ火山噴火の約7時間半後に観測された大気圏を伝わる気圧波と電離圏不規則構造。縦軸と横軸はそれぞれ、地理緯度と経度を表す (Shimbori et al., Scientific Reports, 2023より)。

東海国立大学機構名古屋大学、国立研究開発法人情報通信研究機構、電気通信大学、東北大学、金沢大学、京都大学

## 原子時計の多様な時刻ゆらぎを評価する数学的基礎を構築

次世代無線通信Beyond 5G/6Gに不可欠な高精度時刻同期に貢献

STS 時空標準研究室

2023年12月20日発表  
主任研究員 矢野 雄一郎  
招聘専・協力研・特別研 花土 ゆう子



東京工業大学、群馬大学、国立研究開発法人情報通信研究機構

- ・原子時計の多様な時刻ゆらぎを評価する新たな指標として高階アラン分散を提案
- ・高階アラン分散を原子時計の時刻ゆらぎを特徴づける分散パラメータの関数として表現する公式を発見
- ・次世代無線通信 Beyond 5G/6G に不可欠なモバイル端末や無線基地局間の高精度時刻同期に貢献

東京工業大学、NICT ほかの研究グループは、原子時計の多様な時刻ゆらぎを評価するために、高階アラン分散と呼ばれる指標を新たに定義して、その合理性を数学的に解析するとともに、高階アラン分散を原子時計の時刻ゆらぎを特徴づける分散パラメータの関数として記述する普遍的な公式を発見しました。

次世代無線通信規格 Beyond 5G/6G では、モバイル端末や無線基地局間の時刻同期精度を向上することが通信の高速・大容量化、高信頼・低遅延化、多接続化に直結します。特に、モバイル端末の高精度時刻同期を実現するためのキーデバイスとして、小型原子時計の研究開発が活発に行われています。原子時計は原子固有の遷移周波数を基準とすることにより、現在主流の水晶時計と比較して桁違いに正確な時刻を刻むことが可能ですが、原子時計にもわずかな時刻のゆらぎが生じます。時刻ゆらぎの統計的性質には、原子時計の内部構造や原子遷移の検

【 $n$ 次原子時計に対する $N$ 階アラン分散の公式】

$$\sigma_N^2(q_1, \dots, q_n, \tau, t) = \sum_{m=0}^{n-1} \frac{r_m^{(N)}}{r_0^{(N)}} q_{1+m}^2 \tau^{2m-1} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\gamma_i^{(N)} \gamma_j^{(N)}}{r_0^{(N)}} \tau^{i+j-2} \sum_{m=\max\{i,j\}}^n \frac{\rho_{ij}^{(m)}}{q_m^2} t^{2m-i-j+1}$$

ただし

$$r_m^{(N)} = \binom{1}{m!}^2 \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^i (-1)^{i+j} N C_{j_1} N C_{j_2} \sum_{\ell=0}^m C_{\ell} \{(i-j_1)(i-j_2)\}^{m-\ell} \sum_{k=0}^{\ell} C_k \frac{(2i-j_1-j_2)^k}{2^{\ell-k+1}}$$

$$\gamma_m^{(N)} = \frac{1}{(m-1)!} \sum_{i=0}^N N C_i (-1)^{N-i} m^{-1}$$

$$\rho_{ij}^{(m)} = \frac{1}{(m-i)!(m-j)!(2m-i-j+1)}$$

高階アラン分散を原子時計の分散パラメータの関数で表す公式 (Ishizaki et al., Metrologia, 2023より)

出方法などの複数の要素が影響するため、原子時計の多様な時刻ゆらぎを統一的に評価する指標が求められていました。

本研究では、形状や仕組みが異なるさまざまな種類の原子時計にも汎用的に適用可能な時刻ゆらぎの評価指標をシステム制御の数値に基づいて解析しました。本研究が明らかにした高階アラン分散の数学的な性質と関数表現は、原子時計の性能評価にとどまらず、精密計測に関わる計量学分野全般の基礎となることも期待されます。

## 太陽風の観測値からオーロラの広がりや電流の強さを瞬時に予測可能なエミュレータSMRAI2(サムライ2)を開発

SPE 宇宙環境研究室

2024年2月16日発表  
主任研究員 中溝 葵

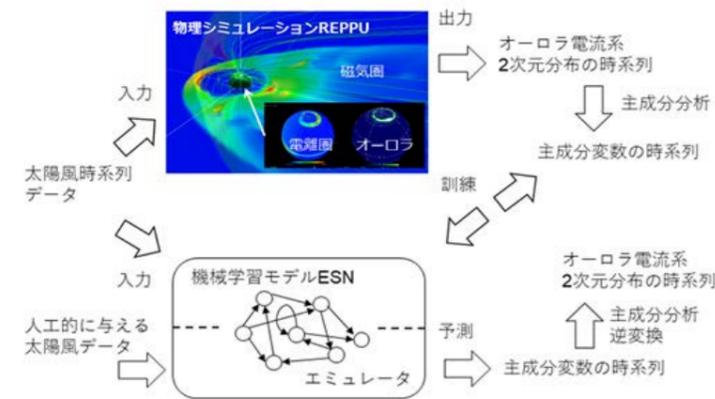


大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 国立極地研究所、国立研究開発法人情報通信研究機構 大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 統計数理研究所、大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 データサイエンス共同利用基盤施設

国立極地研究所、NICTほかの研究グループは、南北両半球のオーロラの広がりや電流の強さを瞬時に予測する新しい手法を開発しました。

オーロラの輪を再現する物理シミュレーション結果の膨大な計算データを用い、物理シミュレーション結果を模倣する機械学習エミュレータSMRAI2(サムライ2)を開発することで、オリジナルの物理シミュレーションの約100万倍の高速化に成功し、これまで30日かかっていたものを数秒で出力できるようになりました。

高速なエミュレータを用いることで多数のシナリオを生成することができ、それに基づく現況分析や確率的な予測など、高度な宇宙天気予報への発展が期待できます。



物理シミュレーション REPPU(上段)とエミュレータ(下段)のフローチャート (Kataoka et al., Space Weather, 2024より)

# 電磁波研究所関連施設

## Sites and Locations

本部 Headquarters  
(東京都小金井市・小平市)

電磁波研究所  
Radio Research Institute



オープンエリア 試験サイト  
Open Area Test Site



電離層観測棟  
Kokubunji Radio Observatory



サロベツ電波観測施設

Sarobetsu Radio Observation Facility  
(北海道天塩郡豊春町)



HOKKAIDO

おおたかどや山標準電波送信所

Ohtakadoya-yama LF Station  
(福島県田村市・双葉郡川内村)



FUKUSHIMA

TOKYO

SAGA・FUKUOKA

KAGOSHIMA

OKINAWA

はがね山標準電波送信所

Hagane-yama LF Station  
(佐賀県佐賀市・福岡県糸島市)



山川電波観測施設

Yamagawa Radio Observation Facility  
(鹿児島県指宿市)



沖縄電磁波技術センター

Okinawa Electromagnetic Technology Center  
(沖縄県国頭郡恩納村)



大宜味電波観測施設

Ogimi Radio Observation Facility  
(沖縄県国頭郡大宜味村)

