



3GeV 高輝度放射光施設

# ナノテラス

## NanoTerasu

運用開始 令和6年度

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 量子ビーム科学部門  
次世代放射光施設整備開発センター

Institute for Advanced Synchrotron Light Source  
Quantum Beam Science Research Directorate  
National Institutes for Quantum Science and Technology

量子科学技術研究開発機構(QST)は国の主体として、民間・地域パートナーとともに  
「官民地域パートナーシップ」のもとナノテラスの整備・開発に取り組んでいます。

# ナノテラスの放射光

## Synchrotron radiation from NanoTerasu

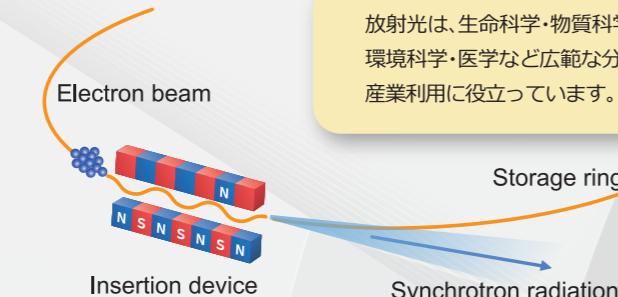
### 放射光とは？

What is synchrotron radiation?

放射光は、ほぼ光の速さで動く電子の進行方向が変化するときに放出される強い光です。

ナノテラスは強力な軟X線を含む放射光を人工的に作り出します。

Synchrotron radiation is the electromagnetic radiation emitted when relativistic charged particles change their moving direction. NanoTerasu provides brilliant synchrotron radiation including intense soft X-rays.



放射光は、生命科学・物質科学・化学・地球科学・環境科学・医学など広範な分野で基礎研究から産業利用に役立っています。

### ナノテラスでできること

What NanoTerasu can do?

ナノテラスは、日本の最先端放射光技術を用いて建設される、世界最高クラスの軟X線放射光施設です。

軟X線は物質中の化学結合、電子の状態や性質・機能の起源を調べること得意としています。

ナノテラスでは軟X線に強みをもつ放射光を使って

- 物質を構成する元素の種類や構造を詳しく知ることができます。 Elemental analysis in material.
- 物質の性質や機能がどのように決まるのかを詳しく知ることができます。 Investigation of origin of properties and functions in material.
- 化学反応や物質が変化する様子を詳しく知ることができます。 Investigation of chemical reactions and changes in material.

### ナノテラスの作り出す軟X線の性能はこれまでの100倍以上

The performance of soft X-rays produced by NanoTerasu is more than 100 times higher than before.

#### 太陽光の明るさの10億倍の輝度

1 billion times brighter than sunlight

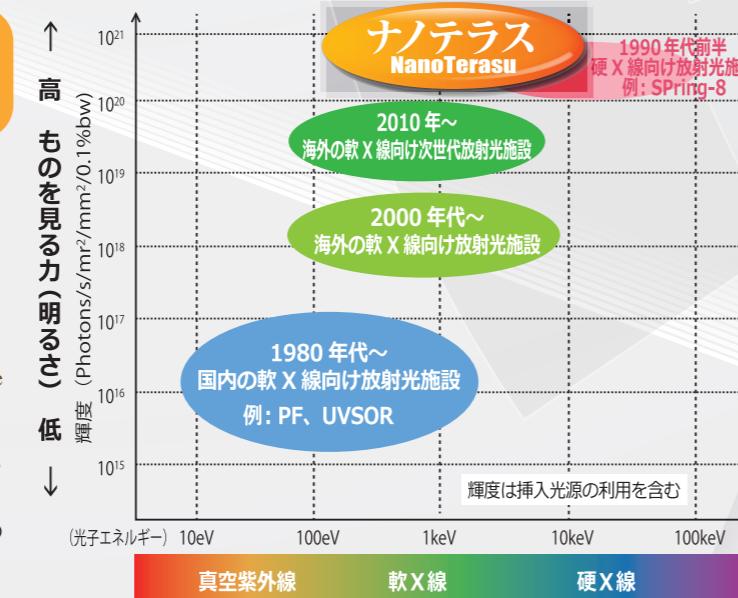
#### 軟X線領域で、国内既存施設最高性能の100倍の輝度

100 times as brilliant as existing domestic facilities in the soft X-ray range

#### 国内既存大型施設の1/10の省エネ運転

1/10 energy-saving operation of existing domestic large-scale facilities

ナノテラスの放射光は、軟X線領域で国内既存施設最高性能の100倍の輝度をもちながら、電力消費が少ないのが特徴です。



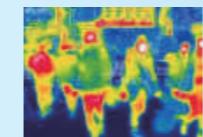
### ナノテラスを利用し持続可能な社会に貢献

NanoTerasu contributes to SDGs.

ナノテラスは最先端技術によって材料などの機能を観察するのに適した軟X線領域の放射光を作り出します。

研究対象を観察するには、それに適した光を使うことが大切です。

**NanoTerasu is good at soft X-ray region.**



Cell



Electron



Atom



Molecule



Protein



Crystal



Nucleus

赤外線

可視光

真空紫外

軟X線

Soft X-rays

X線

硬X線

ガンマ線

Hard X-rays



artificial heart



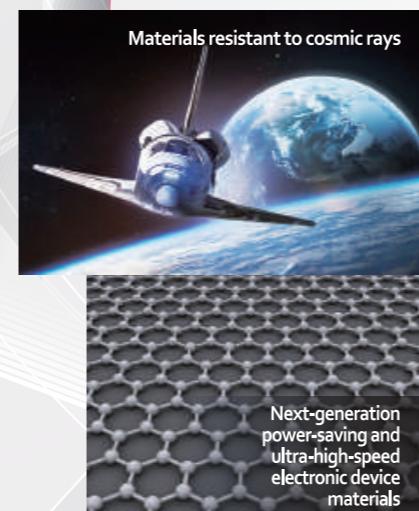
New drug discovery

生命をまもり  
健康な生活を支える

タンパク質の中の電子の振る舞いを  
明らかにして医療に役立てる

材料のあたらしい可能性を開く

物質のナノレベルの  
微小領域に現れる  
新しい性質を探り当てることで、  
これまでにない素材を開発する



Materials resistant to cosmic rays

Next-generation  
power-saving and  
ultra-high-speed  
electronic device  
materials

Material

マテリアル

Energy

エネルギー

Eco

エコ

環境汚染や気候変動を  
引き起こすことなく  
快適な生活を可能にする

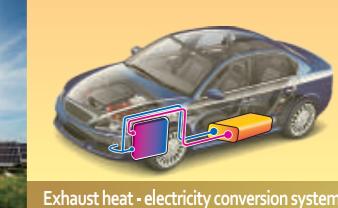
電子のもつ潜在能力を利用して  
環境にやさしい素材や機能を  
つくりだす



Exploration of environmentally  
friendly materials



Highly efficient and inexpensive  
solar cell



Exhaust heat - electricity conversion system

# 高性能な放射光を作り出すナノテラスの加速器

## NanoTerasu accelerator complex to generate High-Performance Synchrotron Radiation

3GeV高輝度放射光施設ナノテラスは、電子を加速する線型加速器(長さ:110m)と電子を周回させて放射光を発生させる円型の蓄積リング(円周:348.8m)で構成されています。

The 3GeV synchrotron radiation facility NanoTerasu consists of an electron linear accelerator (linac) with a length of 110m and a storage ring with a circumference of 348.8m to generate highly brilliant synchrotron radiation.



### 軟X線に最適な3GeVまで加速

Acceleration to 3GeV: optimal electron energy to generate soft X-rays.

#### 線型加速器 Linac



クライストロン Klystron

線型加速器(長さ:110m) Linac

電子の持つエネルギーは線型加速器を通る間に、軟X線を発生するのに適した3GeVに達します。

The linac accelerates the electron beam up to 3GeV: optimal energy to generate synchrotron radiation in the soft X-ray region.

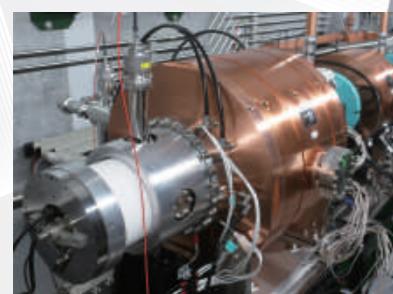
#### 内周通路

#### Maintenance corridor



加速器の運転に必要な制御用などのラックは内周通路に設置されています。

Racks for power supply, control, etc. are located in the maintenance corridor.



### ナノテラスのために開発されたコンパクト高性能電子銃システム

Compact high-performance electron gun system developed for NanoTerasu.

#### 電子銃 Electron gun

放射光のもとになる電子は、電子源で作られ線型加速器で加速され蓄積リングに入射されます。電子源には空間的広がりの小さなビームを安定的に供給することが要求されます。この要求を満たし、かつ限られた敷地内に入射線型加速器を納めるためにコンパクト高性能電子銃システムを開発しました。

The electron beam circulating in the storage ring to generate synchrotron radiation is first emitted from an electron source located at the upstream end of the linac, accelerated up to 3GeV through the linac and injected into the NanoTerasu storage ring. We developed a compact high-performance electron gun system to stably provide low emittance beam for the injector linac.



電子ビームを周回させる

300台以上の磁石を0.1mm以下の誤差内で精密に設置  
More than 300 magnets are precisely aligned within accuracy of 0.1mm or less.

#### 蓄積リング Storage ring

蓄積リングは、セルと呼ばれる基本単位16個で構成されます。1セルは、4台の偏向磁石、10台の四極磁石、10台の六極磁石で構成されます。1セル当たりの構成磁石数を従来に比して増やすことで、電子ビームの空間広がりを抑制します。

1台1~1.4トンの磁石が300台以上、堅固な架台上に設置されますが、磁石の設置精度も1周で0.1mm以下に抑えなければなりません。これは仙台から東京までの距離で、約9cm以下の精度を保つことに匹敵します。

Storage ring consists of 16 unit cells. One cell is composed of 4 bending magnets, 10 quadrupole magnets, and 10 sextupole magnets. Those magnets are designed and lined up to reduce the electron beam emittance.

More than 300 magnets weighing hundreds of kilograms to 1.4 tons each are precisely aligned on a girder within accuracy of 0.1mm or less.



すべてのビームラインで挿入光源を利用  
All the beamlines use insertion devices.

#### ビームライン Beamline

ビームラインでは「挿入光源」から発生する放射光の必要な部分を「フロントエンド」で切り出し、実験を行う実験ホールに導きます。フロントエンドで形成された放射光は「ビームライン光学系」によって、実験目的に合わせたエネルギー部分を取り出され、「エンドステーション(実験装置)」に導かれます。

A beamline consists of an insertion device, a front-end devices, a beamline optics, and experimental stations. Insertion device produces brilliant radiation. Front-end devices and the monochromator leads optimal X-rays to the experimental stations.



#### 挿入光源 Insertion device



#### フロントエンド Front-end devices

挿入光源から放出される放射光に含まれる余分な成分を取り除き、実験に必要な放射光を実験ホールに導きます。

Front-end devices let through the on-axis components of the synchrotron radiation from the insertion device, eliminating unnecessary radiations and heat load.

より使いやすい放射光を得るために蓄積リングに「挿入光源」を設置します。挿入光源の中で電子は強力な磁石の力で蛇行運動をし、電子の進行方向が変わるたびに放射光が発生し重ね合わされます。挿入光源からの、明るい(高輝度)、細く絞られた(高指向性)放射光を、すべてのビームラインで利用できるのが、ナノテラスの大きな特徴です。

At NanoTerasu, insertion devices are placed at the straight sections of the storage ring. In the alternating magnetic fields generated by the magnet array of the insertion device, electrons draw a sinusoidal trajectory. Synchrotron radiation, which is emitted every time the electrons are deflected, is superimposed and results in a bright and well-collimated X-ray beam. At NanoTerasu, all the beamlines use insertion devices as light source.

# QST が整備する ビームラインでの研究

Research at the public beamlines built by QST

実験ホール Experimental hall

日本初、放射線管理区域の適用除外

Japan's first exemption from "full radiation control area"

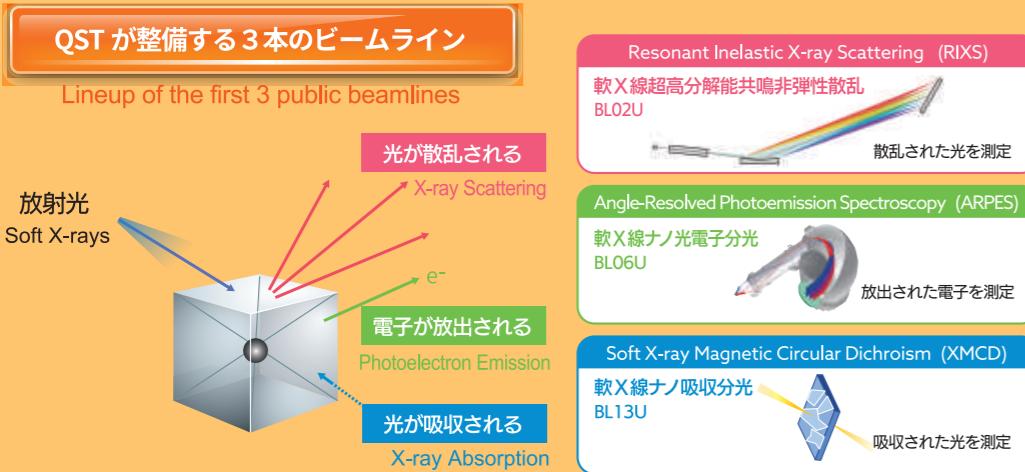
ナノテラスをできるだけ多くの分野で多くの研究者・技術者に活用して頂きたいと考えています。従来の国内では実験ホール全域が放射線管理区域として管理され、利用者の立ち入りには多くの負担がありました。ナノテラスでは、慎重な放射線遮へい等の安全設計によって、大部分の放射線管理区域の適用除外を行い、利用者の負担を軽減します。

これは我が国では全く新しい試みであり、多くのユーザーにとってより利用しやすい開かれた施設となることが期待されます。

NanoTerasu is the first facility in Japan designed to exclude most of the experimental hall from radiation-controlled areas by optimizing shielding and safety systems. We expect that many users will find NanoTerasu easier to use.

## ビームライン Beamlines

ナノテラスは、実験ホールに最大 28 本のビームラインが整備できるように設計されています。当初は令和 6 年度運用開始を目指し 10 本のビームライン（内訳：QST が 3 本、パートナーが 7 本）が整備されます。  
Up to 28 beamlines can be installed on NanoTerasu. QST is constructing first 3 beamlines by 2024 FY.



## 超高分解能で低エネルギー励起を見る

Unveiling lower energy excitations with ultrahigh resolution

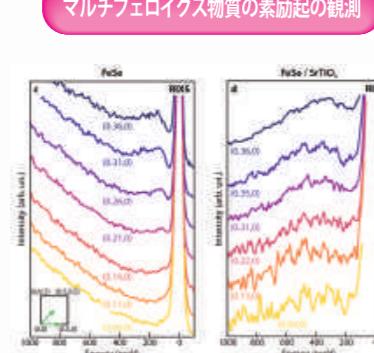
BL02U：軟 X 線超高分解能共鳴非弾性散乱

### 電子の集団がつくる素励起を見る

物質に X 線を照射すると、X 線は持っていたエネルギーの一部を物質に与え、エネルギーが少し小さくなったり X 線になってしまって、物質から散乱されます。この光のエネルギー差を測定することで、物質がどれだけのエネルギーを受けたかが分かります。

これによって、物質中の電子状態や、固体や分子の振動状態、スピンのエネルギー状態をることができます。

RIXS is a photon-in/photon-out spectroscopy where one measures energy loss of the scattered X-ray and gives direct information about elementary excitations.



## ナノ領域にのみ出現する電子の状態を見る

Revealing the electronic structures in the nanoscale region

BL06U：軟 X 線ナノ光電子分光

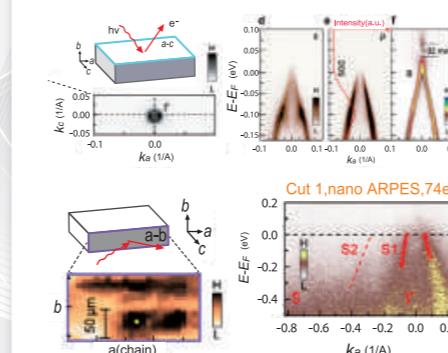
### ナノ領域に現れる物質の新しい性質を探し出す

軟 X 線をナノメートル級に集光し物質に照射することで、ナノ領域の電子状態を調べることができます。これによって、物質の極微小な領域にのみ存在する新しい電子状態の物質を探し出す、デバイス中のナノ空間に閉じ込められた電子の特殊な状態を明らかにすること、場所によって異なる動きをしている電子の分布を描き出すことなどが可能になり、これまでにない新しい性質を持つ物質の発見や高性能なデバイスの開発などに役立てることができます。

By focusing soft X-rays to the nanometer level and irradiating the materials with them, it is possible to reveal the electronic structures in the nanoscale region.

This will be contributing to the development of new materials and high performance devices with unprecedented properties.

### 局所的に現れる特異な電子状態の実証



## 偏光を利用し磁気状態を見る

Exploring spintronic structures by versatile photon polarization

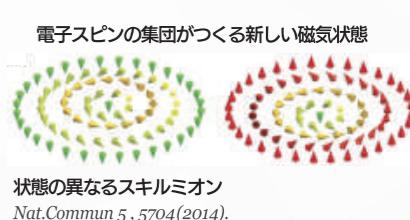
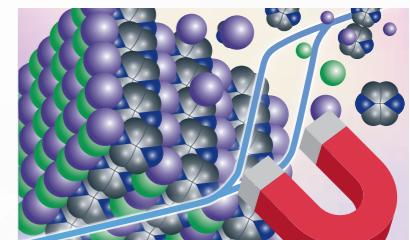
BL13U：軟 X 線ナノ吸収分光

### ナノサイズの磁石を見つけ、操る

X 線吸収分光は、物質に照射された X 線がどれだけ吸収されるかを測定することで、物質内の電子の状態を調べる手法です。入射 X 線の偏光（光が持つ電場の偏り）を制御して測定することで、電子の磁性に関わる情報を得ることができます。

不均一試料からナノメートルサイズの極小磁石を見つけ、その性質や制御の仕方を解明し、新しいデバイス材料開発に利用することができます。

Synchrotron radiation focused to 10nm spatial region with versatile photon polarization provides valuable information about microscopic magnetic and spintronic structures essential for future miniaturized devices and functionalities.



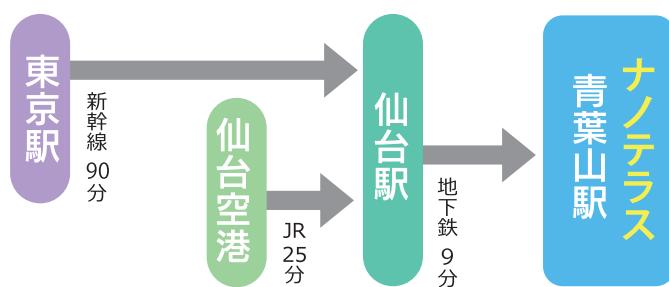


## 建設が進む「ナノテラス」

[写真提供] 一般財団法人光科学イノベーションセンター

ナノテラスという愛称は、ナノの世界を明るく照らす強力な光を生みだす施設の特徴を表しています。また、日本神話で世の中を照らす「天照大御神」のように、この施設で行われる研究やその成果が、世界の学術や産業にも豊かな実りをもたらして欲しいという願いも込められています。

## ACCESS NanoTerasu アクセス



国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

量子ビーム科学部門

次世代放射光施設整備開発センター

〒980-8579

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-11-901

TEL:022-785-9480 (代表)

Emai:3GeV-info@qst.go.jp

URL: <https://www.qst.go.jp/site/3gev/>