



# 3GeV高輝度放射光施設 NanoTerasu (ナノテラス) が創る社会



本年4月  
オープン

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構  
一般財団法人 光科学イノベーションセンター (PhoSIC)  
国立大学法人東北大学  
宮城県 仙台市 一般社団法人東北経済連合会

一般財団法人 光科学イノベーションセンター (PhoSIC) 副理事長  
東北大学特任教授 河村純一

# 放射光施設とは： 巨大な「ナノの世界の顕微鏡」



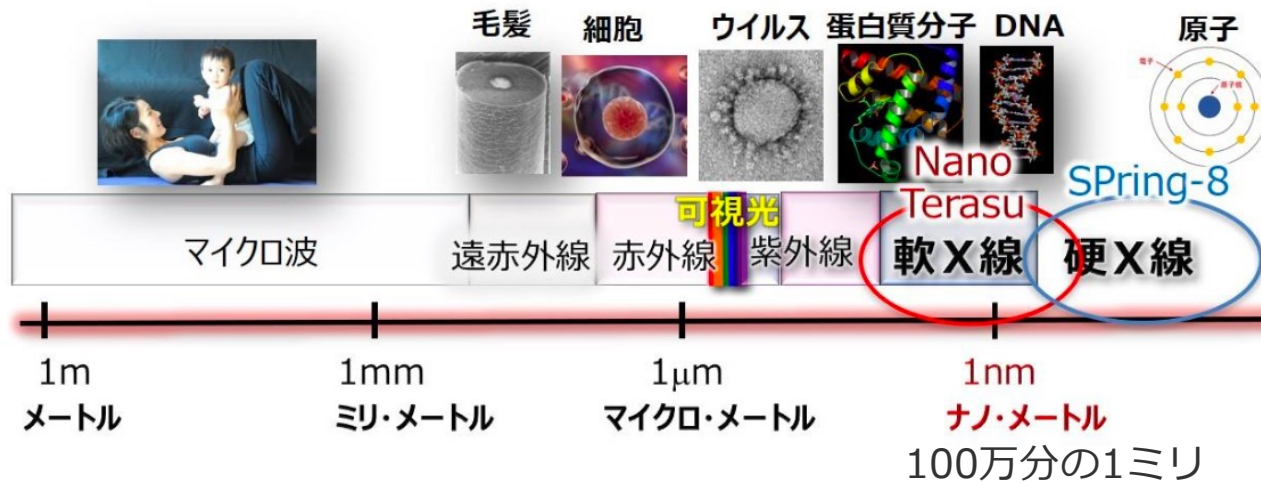
円形加速器(Synchrotron)から出る高輝度X線を使い  
ナノの世界を見る。

(1nm=10<sup>-9</sup>m =100万分の1ミリ)

原子や分子の世界

工業分野のみならず、環境、  
農業、医学・薬学など幅広い  
分野で、最先端の産業利用や  
学術研究への活用が期待され  
る

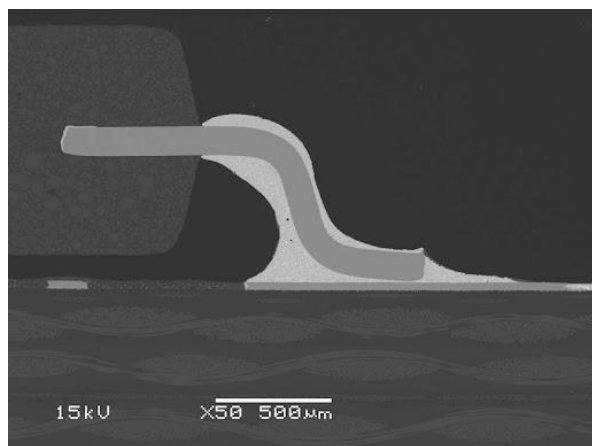
ナノのレントゲン



# 半導体・エレクトロニクス：放射光でnanoの回路が見える<sup>3</sup>

✓ 断面の破壊検査から,

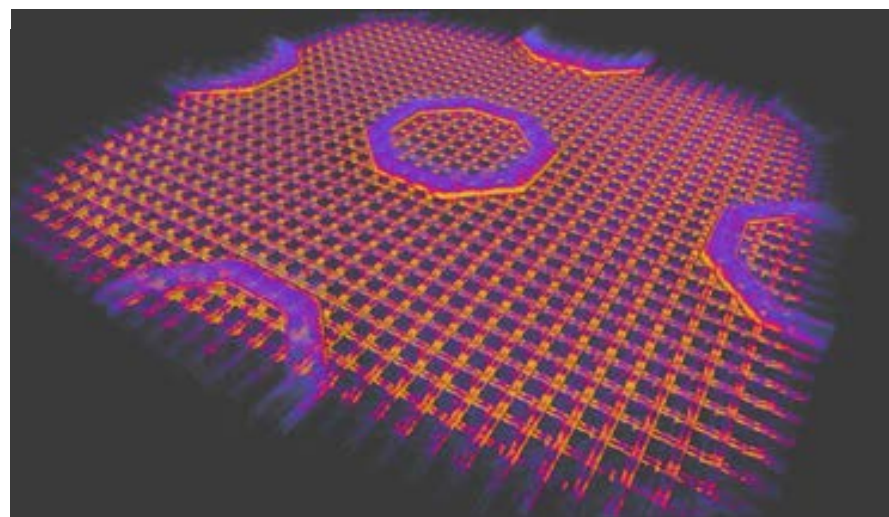
Swiss Light Source(SLS)



断面の観察（電子顕微鏡）

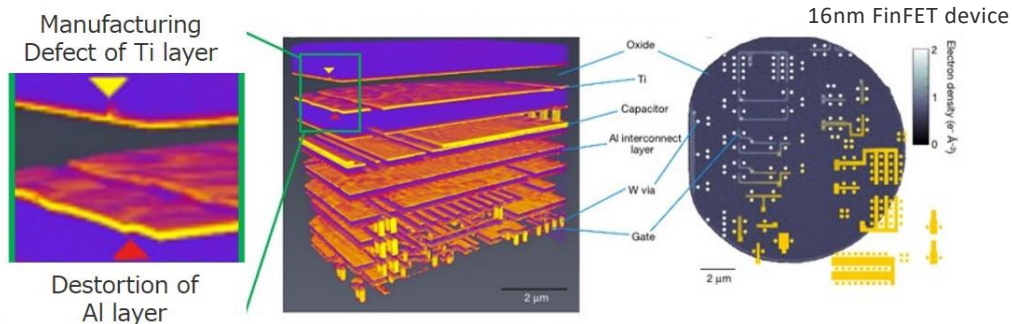
非破壊のマルチスケールイメージングへの転換

放射光X線で見ると インテル G3260 プロセッサ



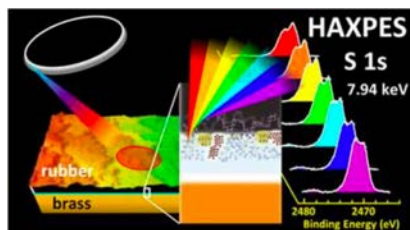
Swiss Light Source

<https://www.nature.com/articles/nature21698>



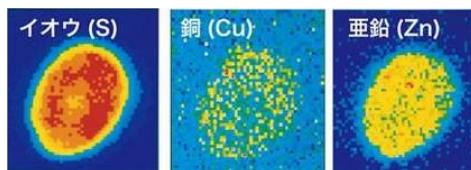
# X線で見えるか

表面界面の化学結合



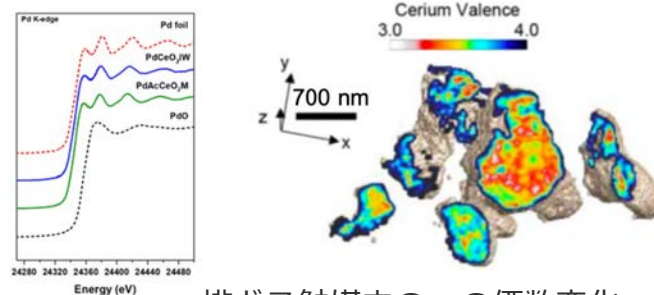
金属ゴム界面の硫黄(S)

蛍光X線分析: 元素分布を見る

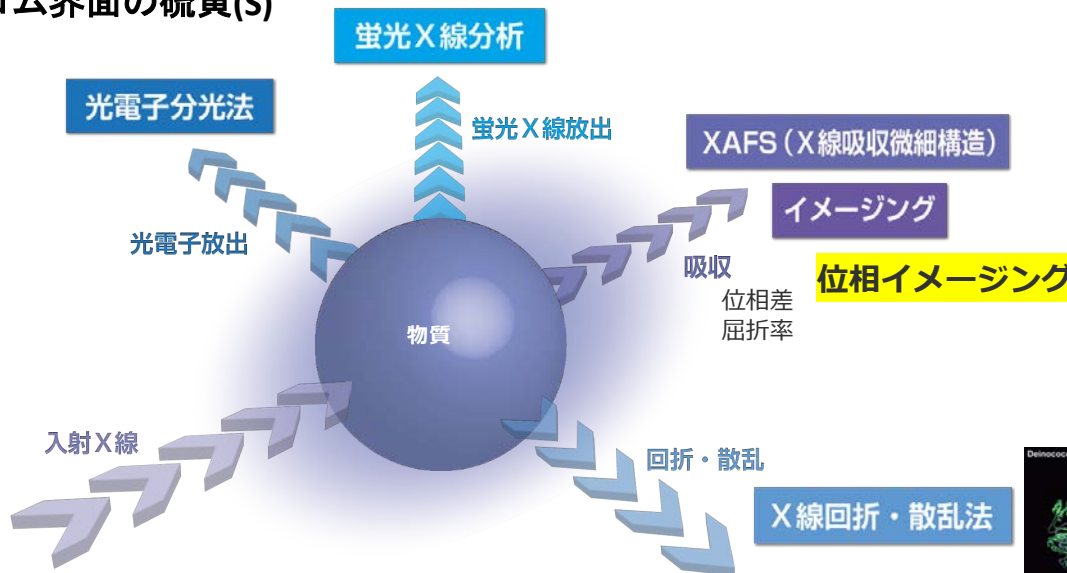


毛髪断面の元素分析

電子状態の変化・分布を見る



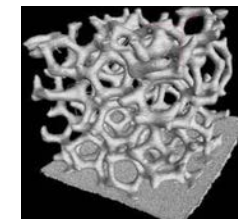
排ガス触媒中のCeの価数変化



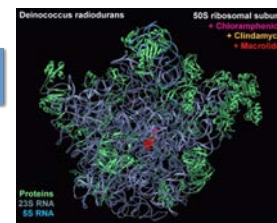
イメージング: 形を透視する



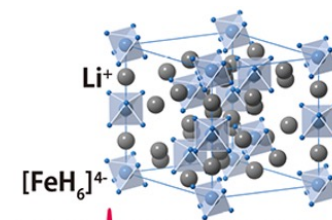
ウサギの胎児の呼吸



ポリマーブレンドの3D可視化



蛋白質の構造を見る



結晶構造を見る

# 世界トップクラスの光を生み出すために

我が国がリードしてきた 放射光, X線  
レーザー技術からナノテラスが誕生

加速器のエネルギーが低い  
ため、最初の放射光は、  
可視光だった

放射光の発見



1947

INS-SOR



1974

カオス光  
放射光



光子  
ファクトリー



1983

コヒーレント光

X線レーザー



SPring-8



1997

SACLA



2011



ナノテラス 2024

SPring-8  
SACLAでの  
R&Dの  
成果を結集

加速技術への投資の成果を投入, 国際競争力のある研究インフラとして

NanoTerasu 2024年

楽天モバイルパーク



大きさ比較

100 m



110 m 直線加速器

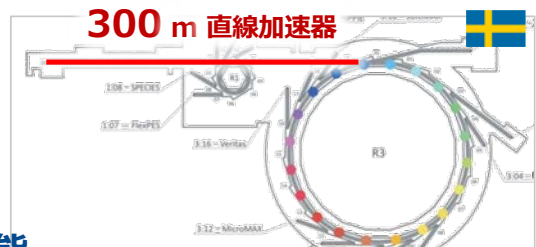
- 高い国産率
- コンパクト
- 高安定・高信頼性
- 世界トップクラスの性能



電子銃

直線加速器

円型加速器 (蓄積リング)



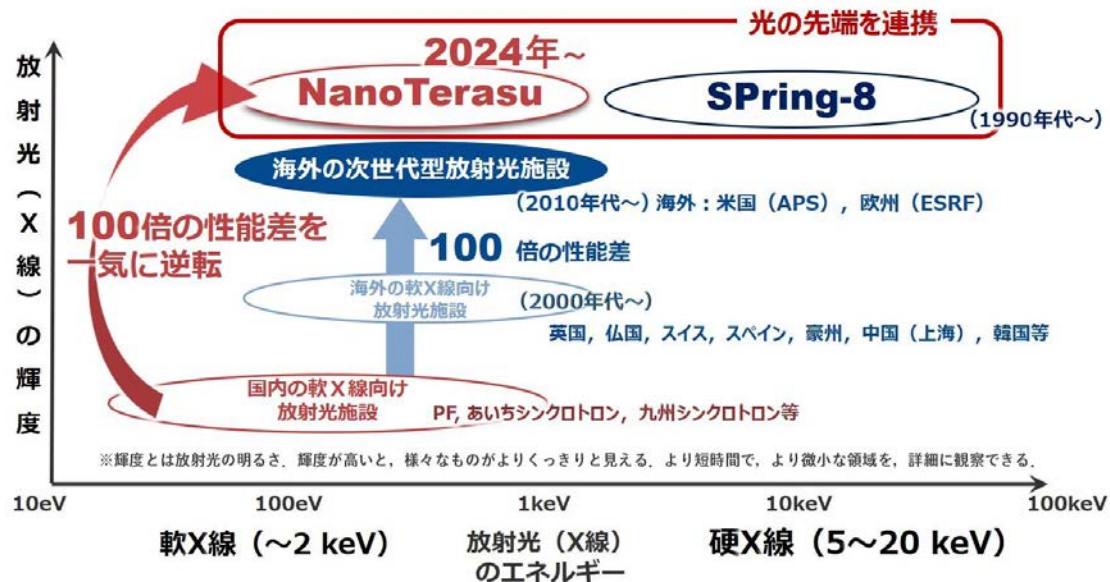
300 m 直線加速器

MAX-IV (次世代型)

2016年 スウェーデン:  
同じ速度まで電子を加速するのにな  
NanoTerasuの約3倍の距離が必要

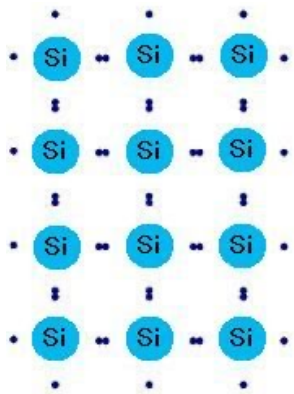
# 研究開発力強化：SPring-8と先端を連携

NanoTerasu (ナノテラス) は、  
 ナノメートルの空間分解能、化学的特異性、動的時間分解能を備え、  
 材料やデバイスの**研究開発力に革命**をもたらし、  
 産業界や学術研究者に独自の分析技術を提供します。

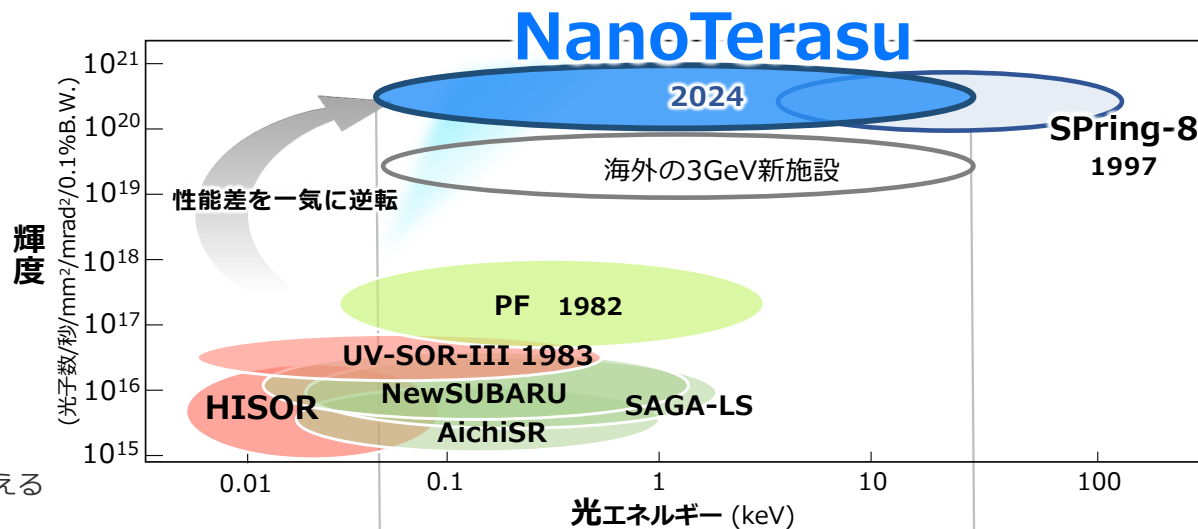
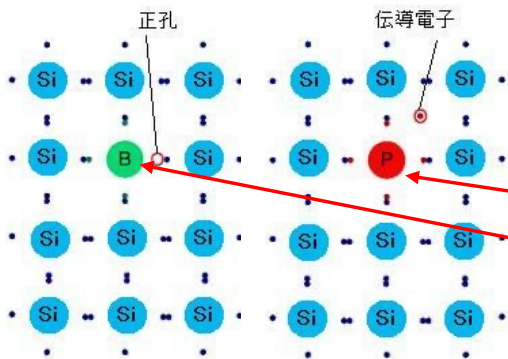


# 幅広い元素同定識別性：半導体産業の観点から

半導体

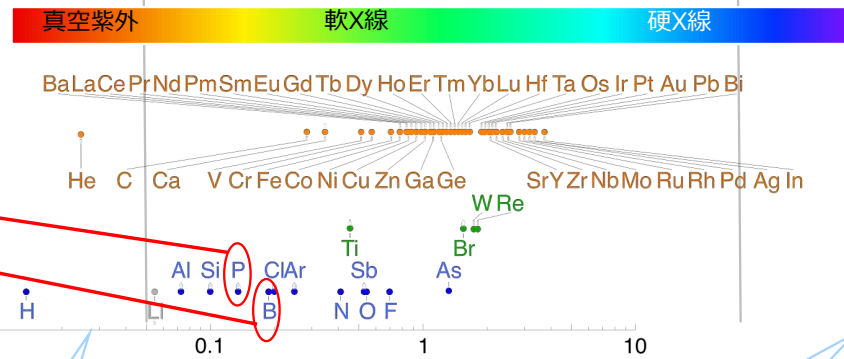


不純物のドーピングで機能を変える



← 他の施設を圧倒する輝度

↙ 増え続ける半導体材料の重要元素を可視化できるエネルギー範囲

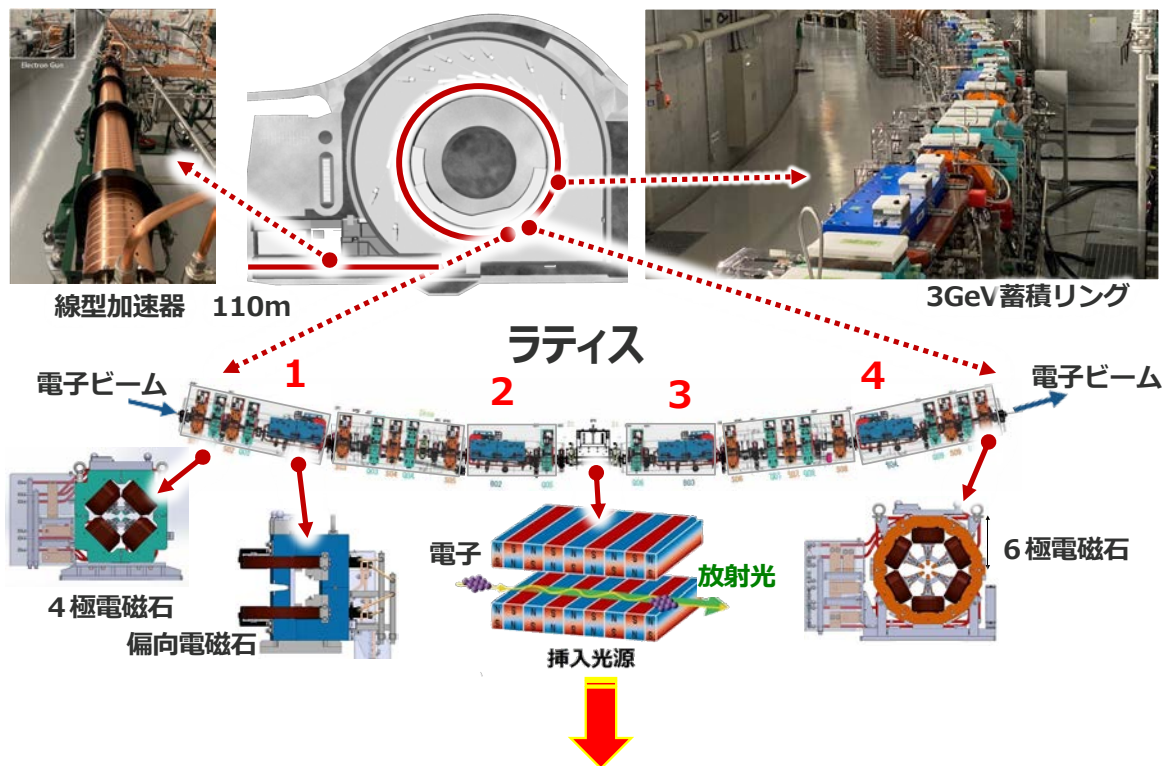


凡例：半導体の開発・製造で  
 ● 1980年代以前から使われている元素 11 elements  
 ● 1990年代から使われている元素 +4 elements  
 ● 2000年代から使われている元素 +45 elements (potential)

# 次世代放射光とは？ SPring-8との違い

蓄積リング 周長349m

リング全周で16ラティス 偏向電磁石 64個 四極電磁石 160個 六極電磁石 160個



周回する電子の進路を磁石で蛇行させ放射光を発生

**NanoTerasu**

MBA

1ラティスに, 4つの偏向電磁石を配置

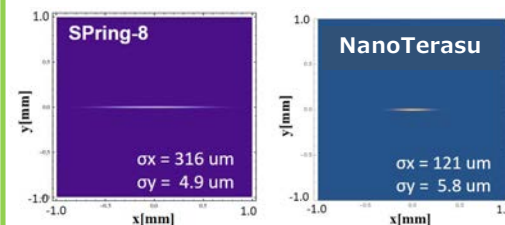
**SPring-8**

DBA

1ラティスに, 2つの偏向電磁石を配置

**NanoTerasu**

光源となる電子ビームが細い



輝度が最大100倍向上  
コヒーレンスが格段に向上

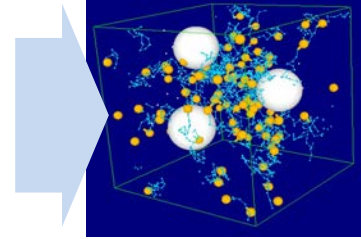
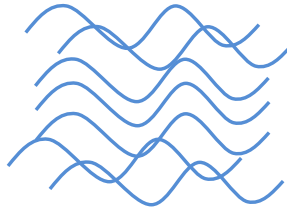


# ナノテラスの強み2: 優れたコヒーレンス

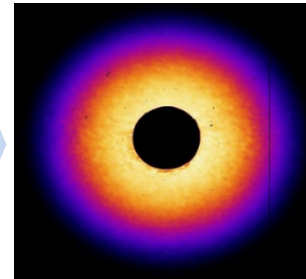
コヒーレンス: 波の位相(山と谷の位置)の揃い具合

これまで (SPring-8など)

低コヒーレントX線



散乱データ

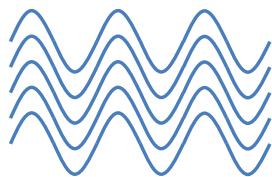


構造モデル  
仮説

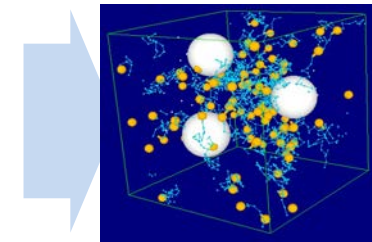


次世代: NanoTerasu

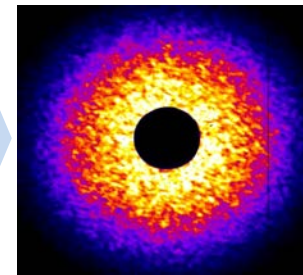
コヒーレントX線



~1 Å

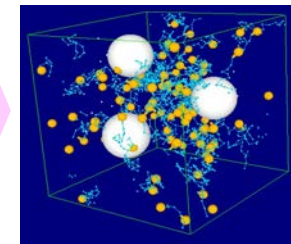


スペックルデータ



計算

可視化

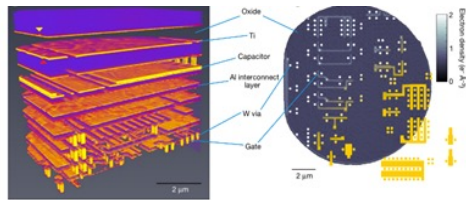
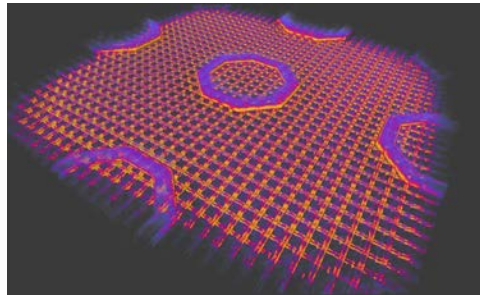


位相イメージング  
コヒーレントイメージング

# ナノで半導体の機能を可視化

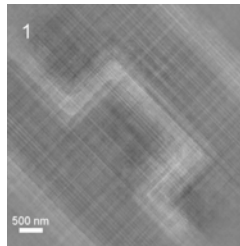
材料・デバイス開発, プロセス, 品質管理...あらゆる場面で利活用可能

## 高いコヒーレント性を用いた 非破壊の品質管理



資料: SLS

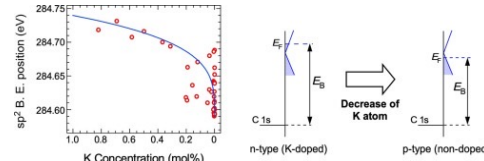
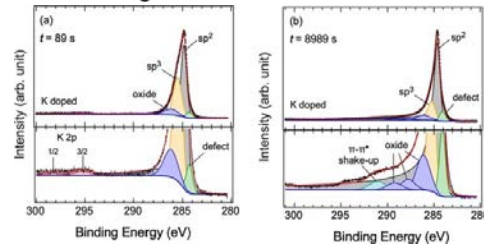
マルチスライス法  
高橋幸生  
(東北大)



## 低消費電力・高速動作する 新たな半導体材料を創る

グラフェンで省電力で高速な新たな半導体材料を創る

- ✓ 放射光+AI分析で, 原子1層分の厚みしかないグラフェンに含まれる微量元素の量を計測することに成功
- ✓ 微量元素の添加量に応じてグラフェンの電子状態が変化することを発見 電気伝導性制御の効果を検証

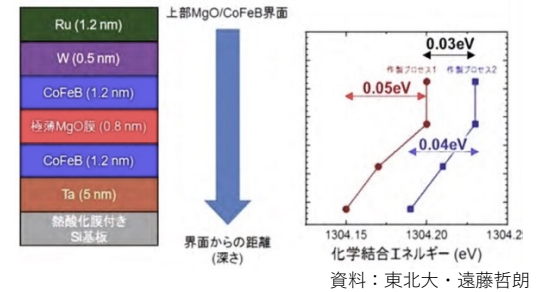


資料: 東北大・小川修一, 蛇川匡司ら

## スピントロニクスデバイスの 状態を可視化

スピントロニクスメモリの製造を最適化

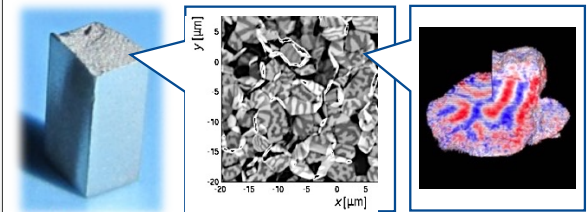
- ✓ デバイス中の0.8nmの酸化膜の電子状態を光電子分光で分析, 成膜プロセスの影響を特定.



資料: 東北大・遠藤哲朗

## 磁区構造を可視化

- ✓ 磁石のN極とS極を見分け, 高性能のデザインが可能に



資料: 東北大・中村哲也

# 放射光施設を中核とするリサーチコンプレックス



2018年7月3日 林文部科学大臣会見

パートナーを選定、役割は次の通り

- 放射光施設を中核としてリサーチコンプレックスを形成
- 官民地域の役割分担に沿った民間企業等からの資金拠出

世界ではリサーチコンプレックスが急成長

## 現世代型放射光施設

- 2010年9月サクレをフレンチ・シリコンバレーにすると宣言。総予算30億ユーロ（約3,500億円）
- 2017年10月にマクロン政権で再宣言



サルコジ大統領



マクロン大統領



SOLEIL@Paris Saclay Cluster

世界のその他施設

- SLS @ イノベーションパーク / スイス
- SLAC @ シリコンバレー / 米国
- SSRF @ 上海 国家自主創出モデル区 / 中国
- TPS @ 新竹科学園区HSP / 台湾

## 次世代型放射光施設



さらに、  
中華人民共和国



(上海、北京、合肥・深圳)



韓国で計画が進行中

# 官民地域パートナーシップによる建設・運営

2018年7月3日 次世代放射光施設 官民地域パートナーの決定  
建設費概算総額：約380億円程度





## ナノテラス 2つの利用形態

### 新システム

#### コアリション利用

2024年4月～  
BL 7本

- 加入金を出資した会員による利用

- **課題審査なし**，原則1か月前まで利用予約が可能
- 組織ニーズプル型・イノベーションを加速
- ビーム利用料負担，**すべて成果専有**利用可能
- 利用支援あり
- メールイン，代行測定，データ解析支援（一部オプション）等

担当機関



民間企業、研究大学・研究機関向け

### 従来どおり

#### 共用利用

2025年3月～  
BL 3本

- すべての個人が課題申請可能

- **課題審査あり**，年数回程度の課題募集
- 個人探求型・イノベーションシーズを涵養
- **原則成果公開**，ビーム利用料負担にて成果専有可能
- 利用支援なし（実験準備のみ支援）

担当機関

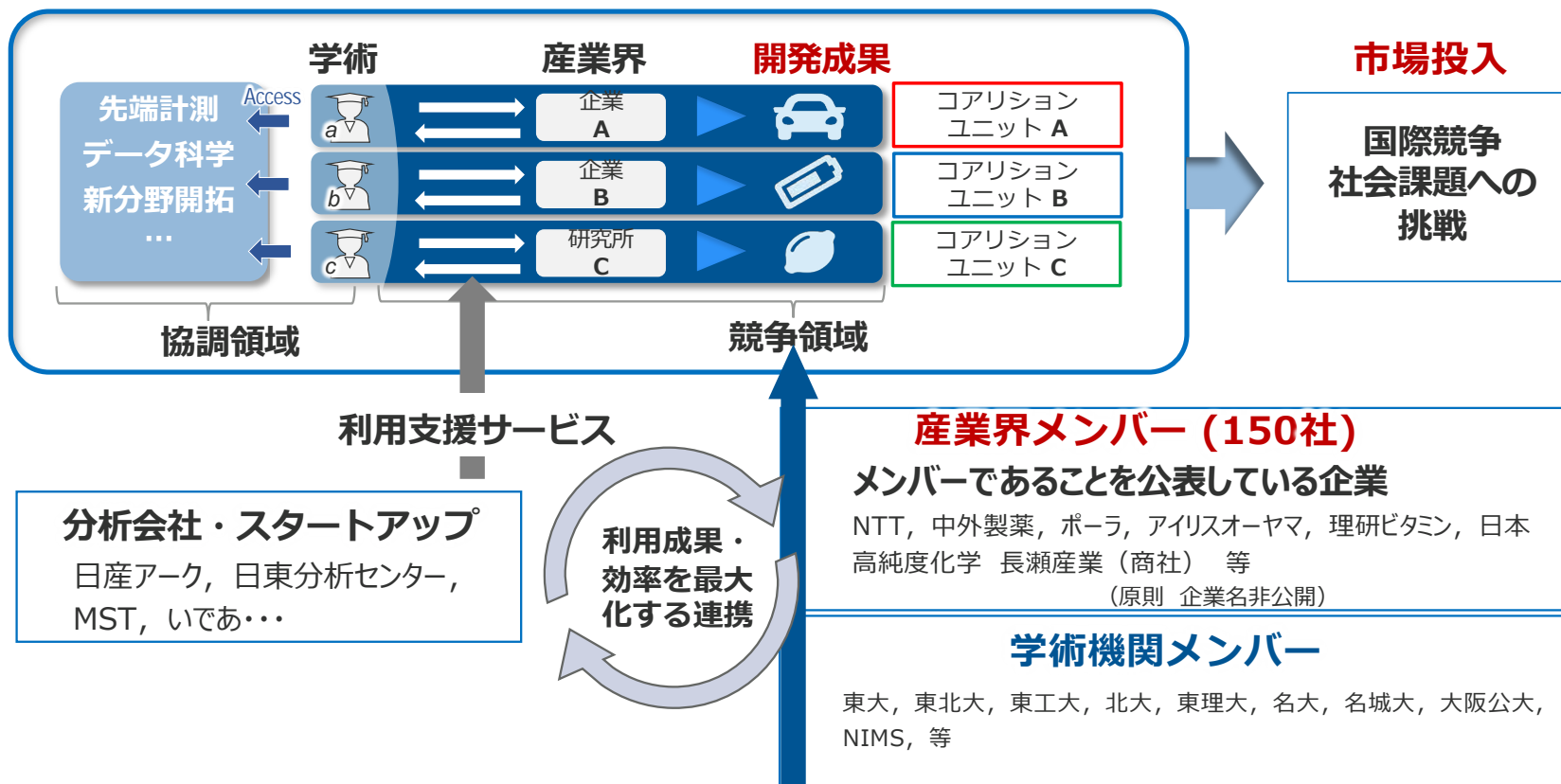


登録施設利用促進機関

大学・研究機関 基礎研究向け

# コアリション メンバーサポート

1. 放射光の勉強は不要. お困りごとをお聞かせいただき, 課題解決の機会を創出.
2. 多彩な分野の優秀なアカデミアとマッチング
3. 競争領域では, 開発情報を管理し, ユニット間での健全な競争
4. 協調領域では, 情報管理の下, 広報や論文による情報発信で成果を共有



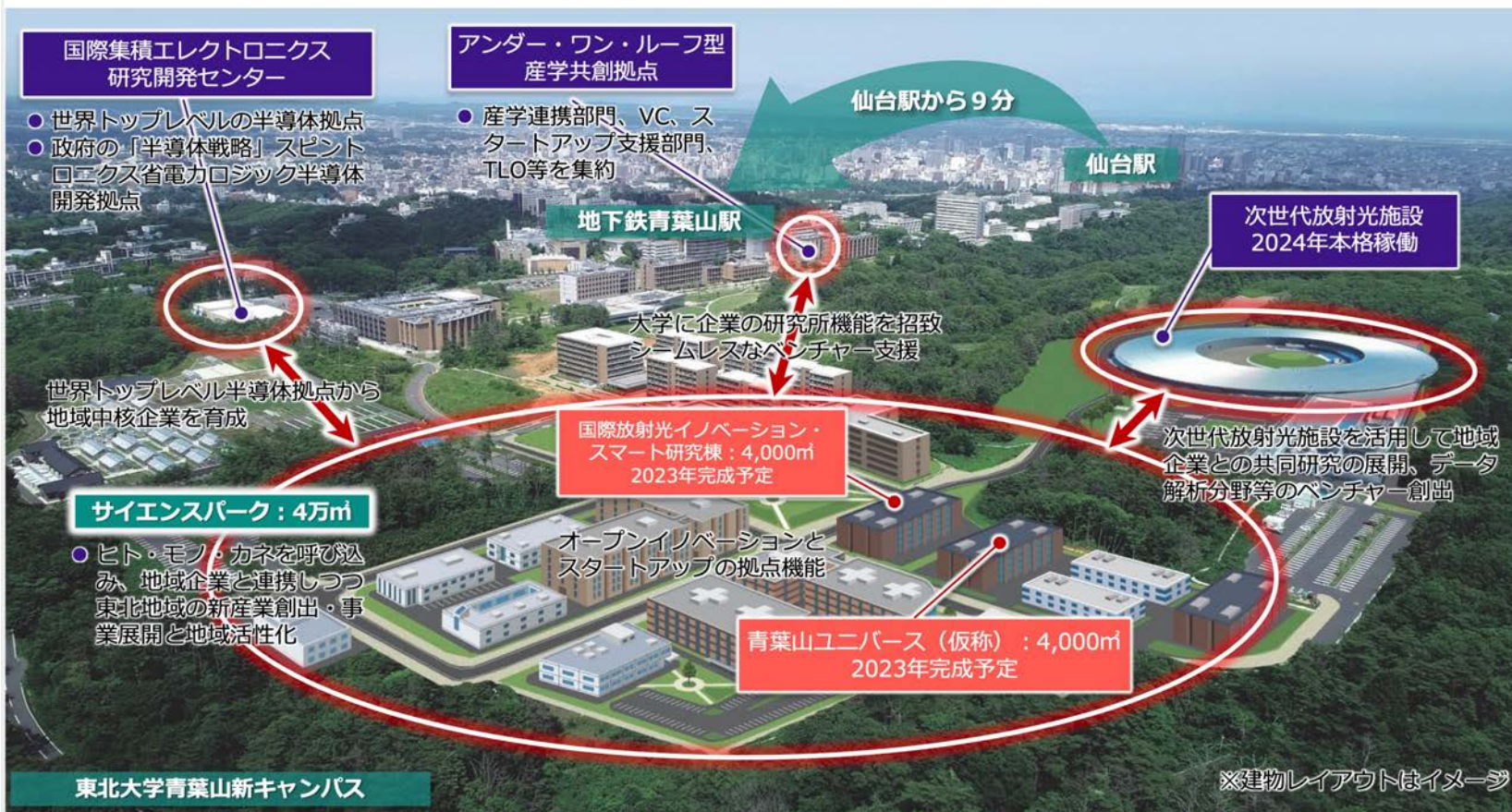
# ナノテラスを核とする東北大学サイエンスパーク構想

## サイエンスパーク型研究開発拠点整備を加速

- 産学官が集う社会課題解決型キャンパスに共創の場を整備
- 都市計画、用地取得、地下鉄整備（総事業費約2,300億円）等に関して、仙台市・宮城県および国と密接に連携

## サイエンスパーク構想とは？

東北大学キャンパスにおいて、産学官が結集して、大学とともに社会価値創造を行う共創の場を整備



# 東北大学 半導体テクノロジー共創体との連携



遠藤哲郎  
センター長



CIES

スピントロニクス省電力  
ロジック半導体開発拠点



須川成利  
教授



NICHe

半導体製造プロセス・部素材・  
イメージセンサ開発実証拠点



戸津健太郎  
教授



μSIC

MEMS設計・プロセス・  
開発実証拠点

## 大型クリーンルームを備えた施設群



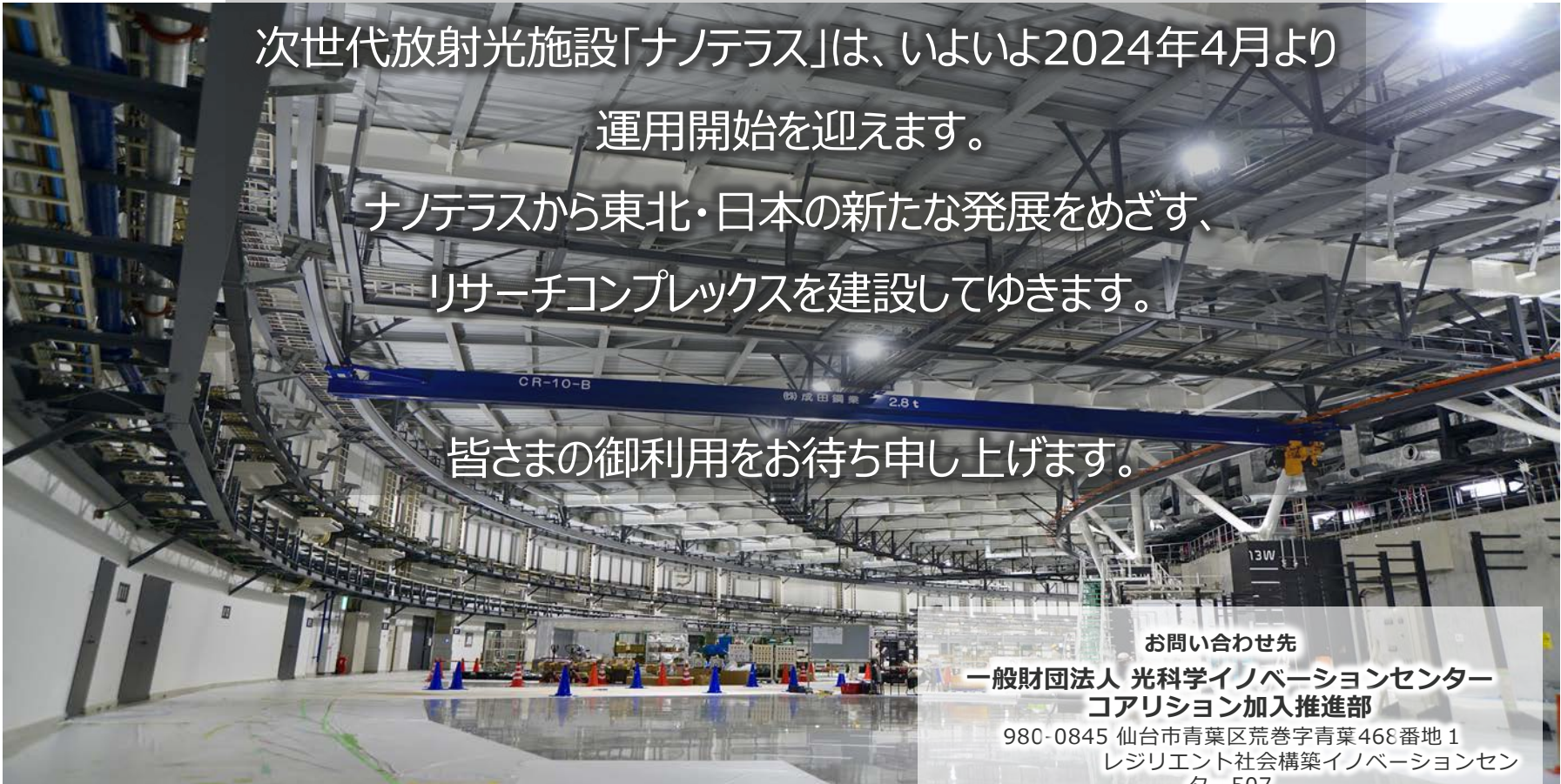


# 2023年12月7日 ファーストビーム成功



# ありがとうございました

18



次世代放射光施設「ナノテラス」は、いよいよ2024年4月より  
運用開始を迎えます。

ナノテラスから東北・日本の新たな発展をめざす、  
リサーチコンプレックスを建設してゆきます。

皆さまの御利用をお待ち申し上げます。

お問い合わせ先

一般財団法人 光科学イノベーションセンター  
コアリション加入推進部

980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉468番地 1  
レジリエント社会構築イノベーションセン  
ター507

TEL : 022-752-2210 (FAX兼用)  
Email: info@phosic.or.jp