地域企業のイノベーション戦略を支援するナノテラス
- 小さな世界企業を生み出すために -

高田 昌樹

東北大学　国際放射光イノベーション・スマート研究センター（SRIS）　教授

一般財団法人　光科学イノベーションセンター（PhoSIC）　理事長

NanoTerasu　2024年度利用開始を予定

https://youtu.be/QK8e9XGL4OE

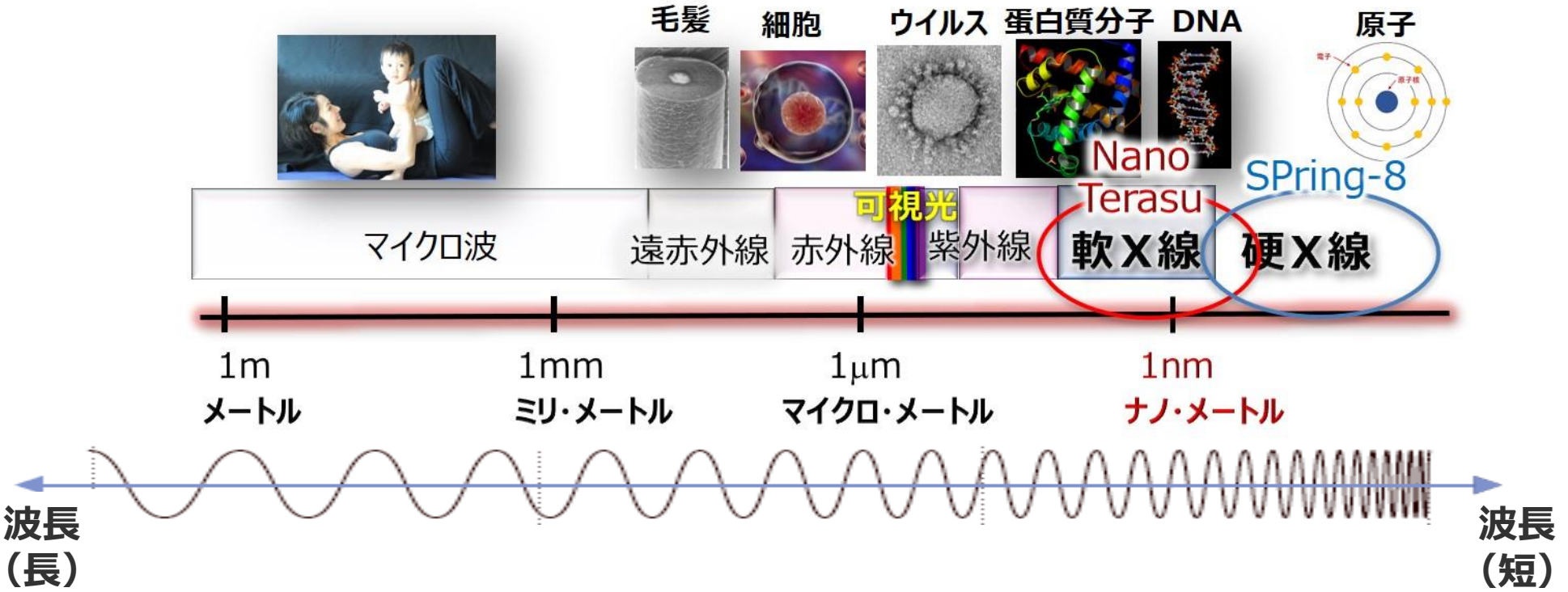
放射光で何が見える？

ナノを拓く放射光

✓**ナノの世界の原子・分子の組み合わせ**から，
それが発揮する**機能を探り，デザイン**することは**科学技術の大きなトレンド.**

✓**放射光はナノの世界を見るための光**であり，様々な**産業・学術分野に不可欠**.

✓**より明るい（高輝度の）放射光**は，
ナノの世界を**よりはっきりと見せ，速い動きの最中も止めて観察**を可能とする.



ナノの形だけでなく機能（化学状態）が見える

色の違い：物質の成分や状態の違い

吸収する光の波長が変化するため

ダイヤモンド

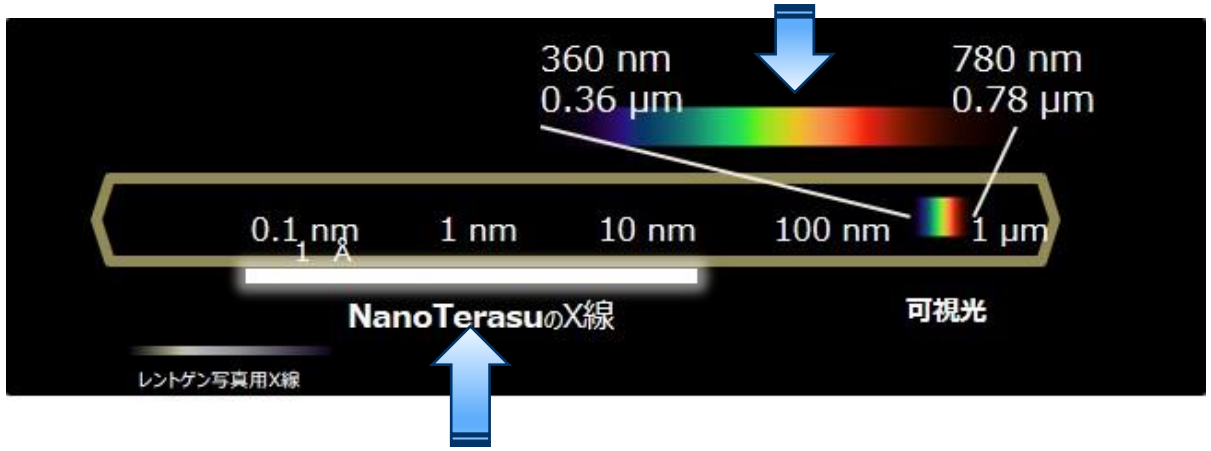
ピンク
原子の配列
に欠陥

ブルー
ホウ素(B)
不純物

イエロー
窒素(N)
不純物

ダイヤモンド

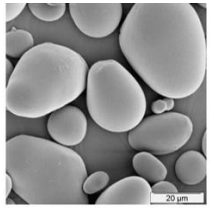
肉眼で見分けられる可視光の波長範囲は狭い



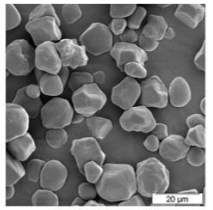
NanoTerasuの光（X線）を使えば，多くの元素や化学状態を鮮明に見分けることができる.

SDG's（食） デンプンの構成要素を可視化

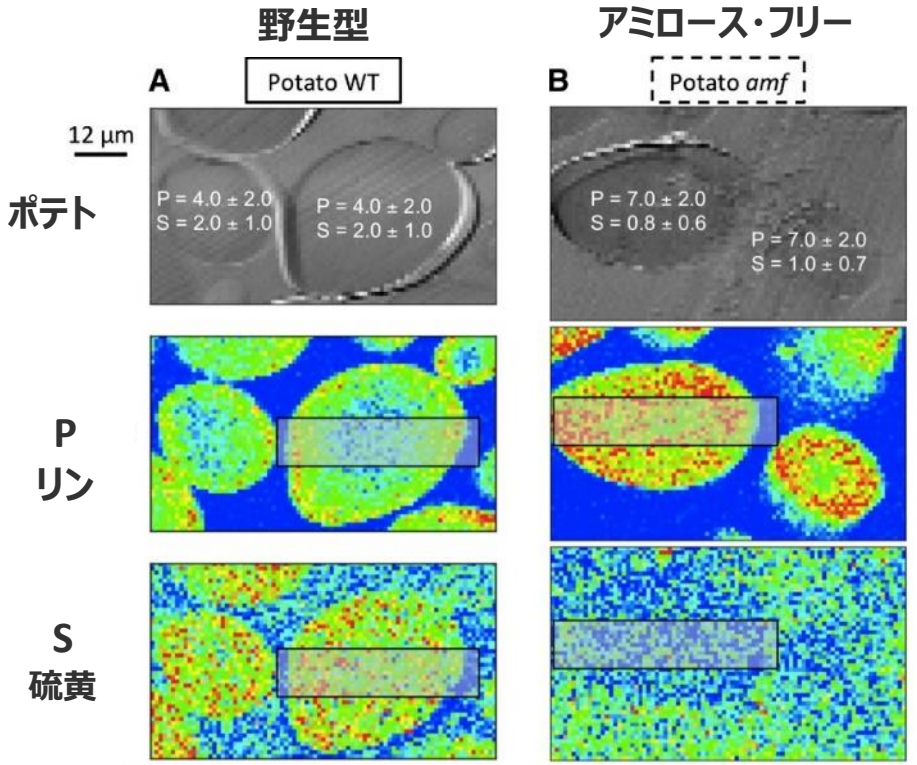
- **食品分野**を中心に，**工業や医療分野**など**幅広い用途**で活用.
  - 日常生活や社会と密接に関係.
    - **安定的な供給が必須**



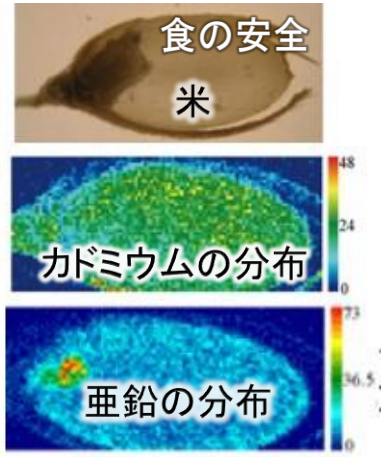
野生型ポテト
澱粉顆粒



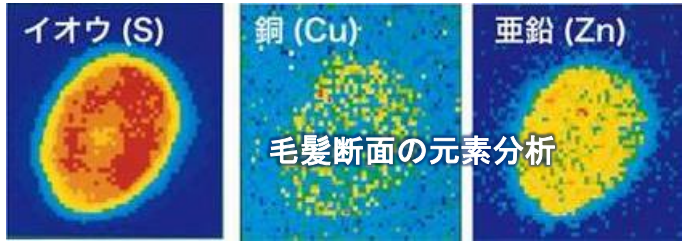
トウモロコシ
澱粉顆粒

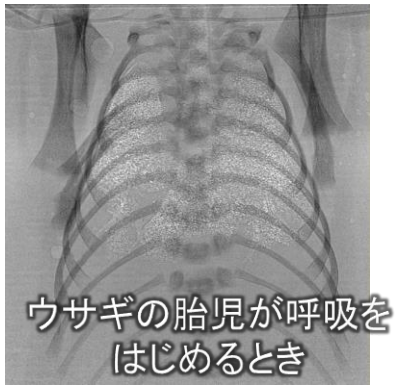


農林水産業・医学・生命科学 放射光の活用

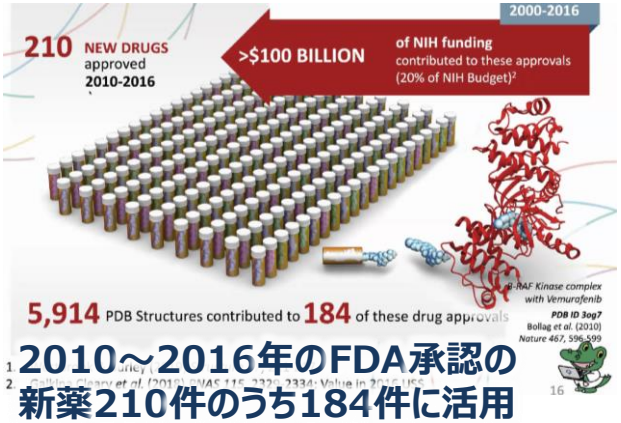


蛍光X線分析：元素を見る

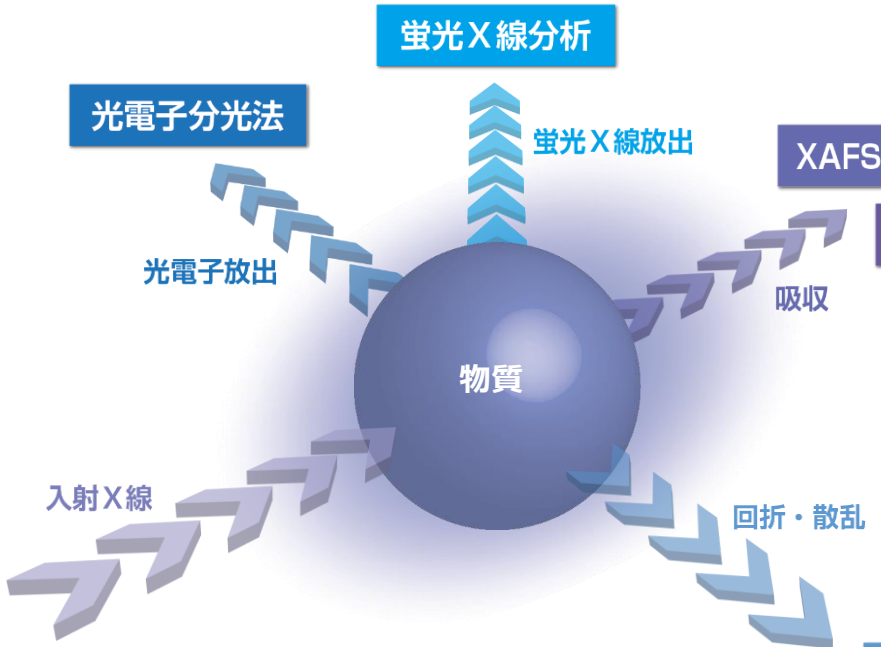




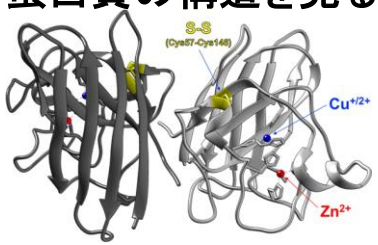
イメージング：形を透視する



2010～2016年のFDA承認の新薬210件のうち184件に活用



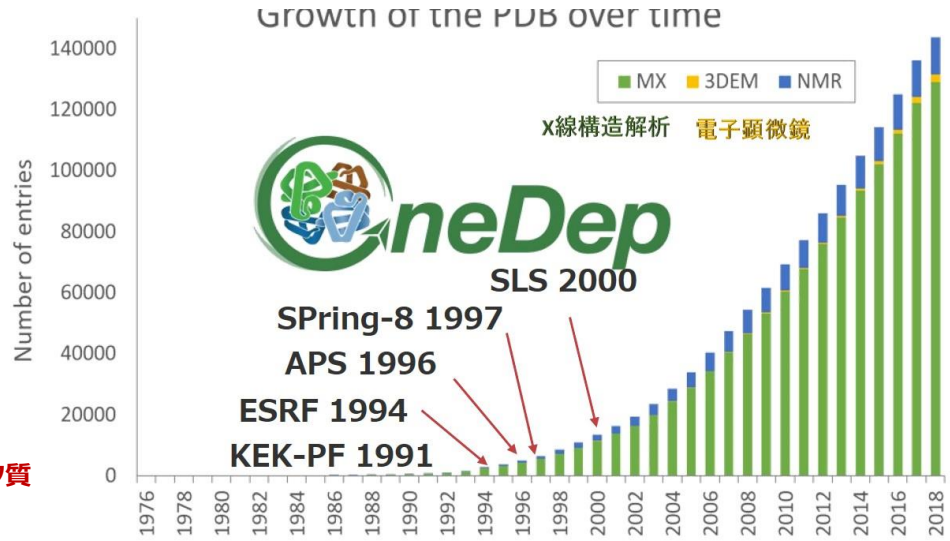
蛋白質の構造を見る



ヒト由来SOD1の結晶構造

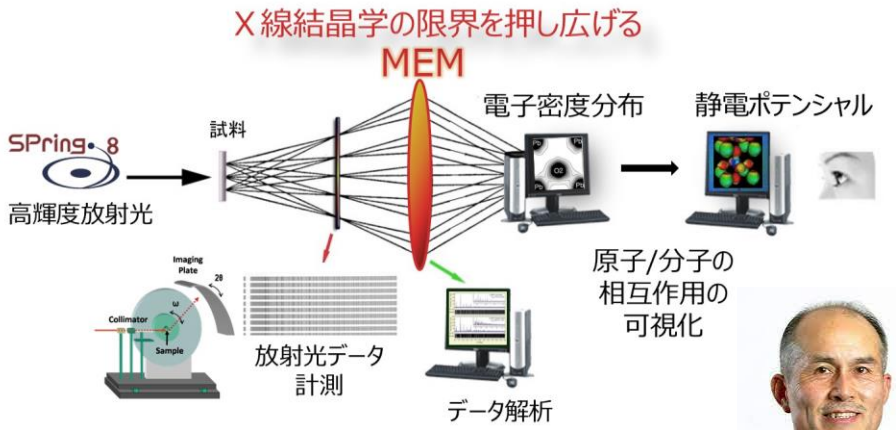
筋萎縮性側索硬化症（ALS）の病因タンパク質

データベース：世界で1日あたり180万件のアクセス数

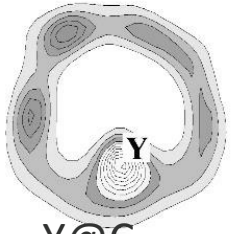


材料中の元素の化学状態：高輝度放射光と情報理論の融合

理化学研究所 高田構造科学研究室: 情報理論による電子密度の可視化



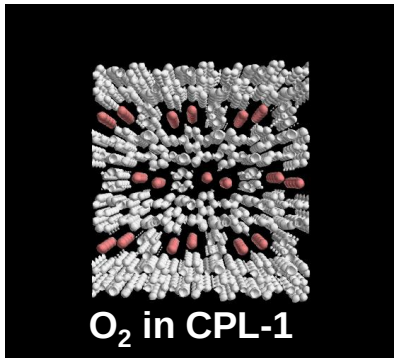
篠原久典
名大
Nature, **1995**, *377*, 46-49.



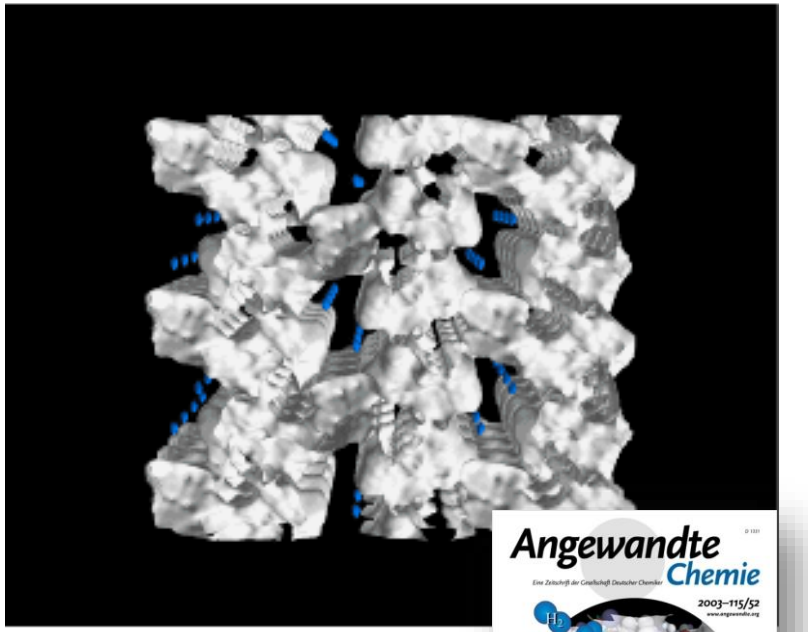
$Y@C_{82}$

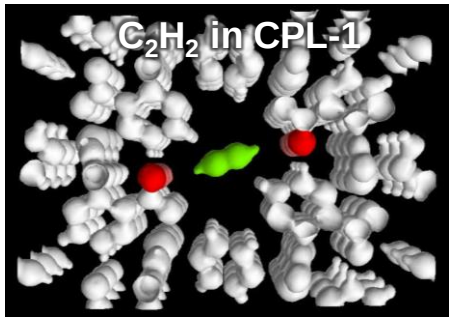
北川 進
京大

Hydrogen Molecules in MOF



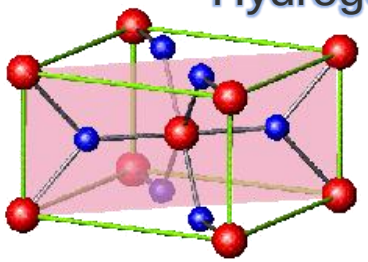
Science **298** (2002) 2358

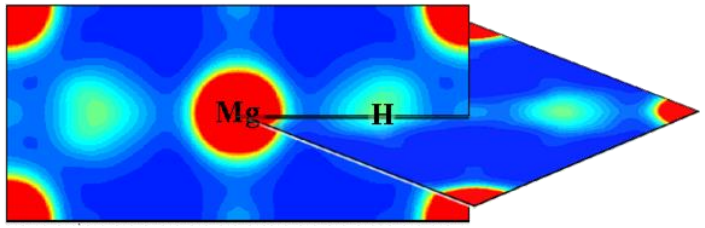




Nature **436** (2005) 238

Hydrogen Storage Mg





MEM Density

$Mg^{1.91+}$ $H^{0.26-}_2$

豊田中研との共同研究

Appl. Phys. Lett. **Vol. 81 (2002) 2008**

放射光の利用

企業にとって価値につながるのか？

フロンティアソフトマター産学連合体の発足 (2008)

ソフトマテリアル企業18社，関学で専用ビームラインを建設

AsahiKASEI　関西学院大学 KWANSEI GAKUIN UNIVERSITY　Canon　kuraray　SHOWA DENKO

住友化学 SUMITOMO CHEMICAL　住友ゴム工業株式会社 SUMITOMO RUBBER INDUSTRIES, LTD.　住友ベークライト株式会社　DIC　DIC株式会社

TEIJIN Human Chemistry, Human Solutions　DENSO　TOYOBO　'TORAY' Innovation by Chemistry　Nitto

BRIDGESTONE　三井化学　三菱化学　三菱レイヨン　YOKOHAMA

欲しいのは，突出した領域の性能改善

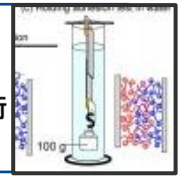
クレーム処理でも

学術研究も同様

誰の課題を解決するのか？

SPring-8 産学連合体ビームラインの成果　2012年～

製品・技術の開発をゴールとする産学連携

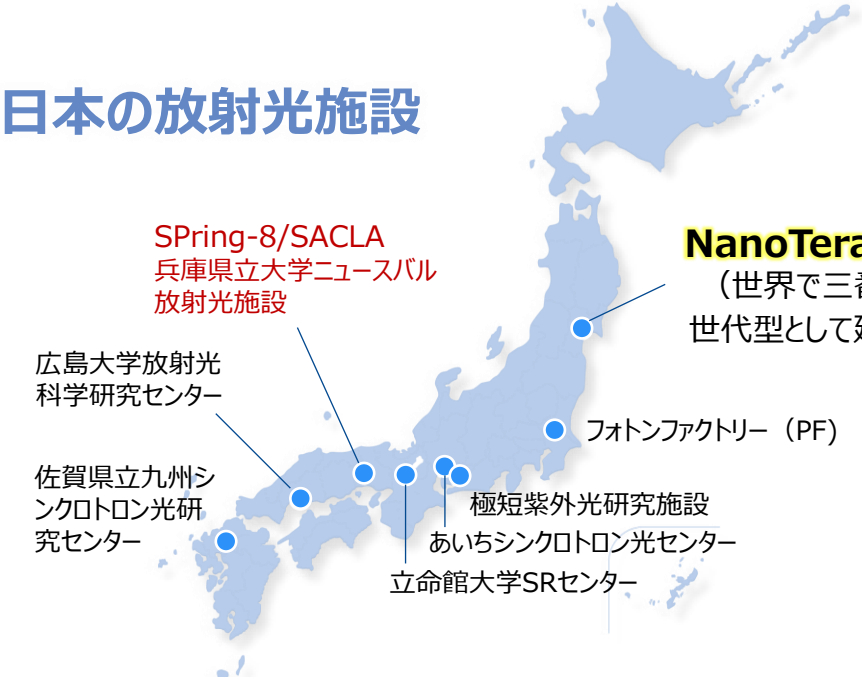
企業	学術	製品・技術
住友ゴム工業株式会社 SUMITOMO RUBBER INDUSTRIES, LTD.	東京大学 雨宮慶幸	エナセーブ
YOKOHAMA	京都大学 竹中幹人	ブルーアース
BRIDGESTONE	東北大学 陣内浩司	エコピア
DENSO	九州大学 高原　淳	自動車の軽量化に貢献するエンジニアプラスチック接着技術（第9回経済産業大臣賞） 
kuraray	豊田工大 田代孝二	耐熱性ポリアミド9T ジェネスタ 開発支援

価値領域の共有の場：　放射光施設

世界の放射光施設

出典：なぜ放射光が必要なのか（SPring-8，SACLA）

日本の放射光施設



➢SPring-8の産業利用成果が契機となり，世界各地で，
先端放射光施設の建設が進んでいる．

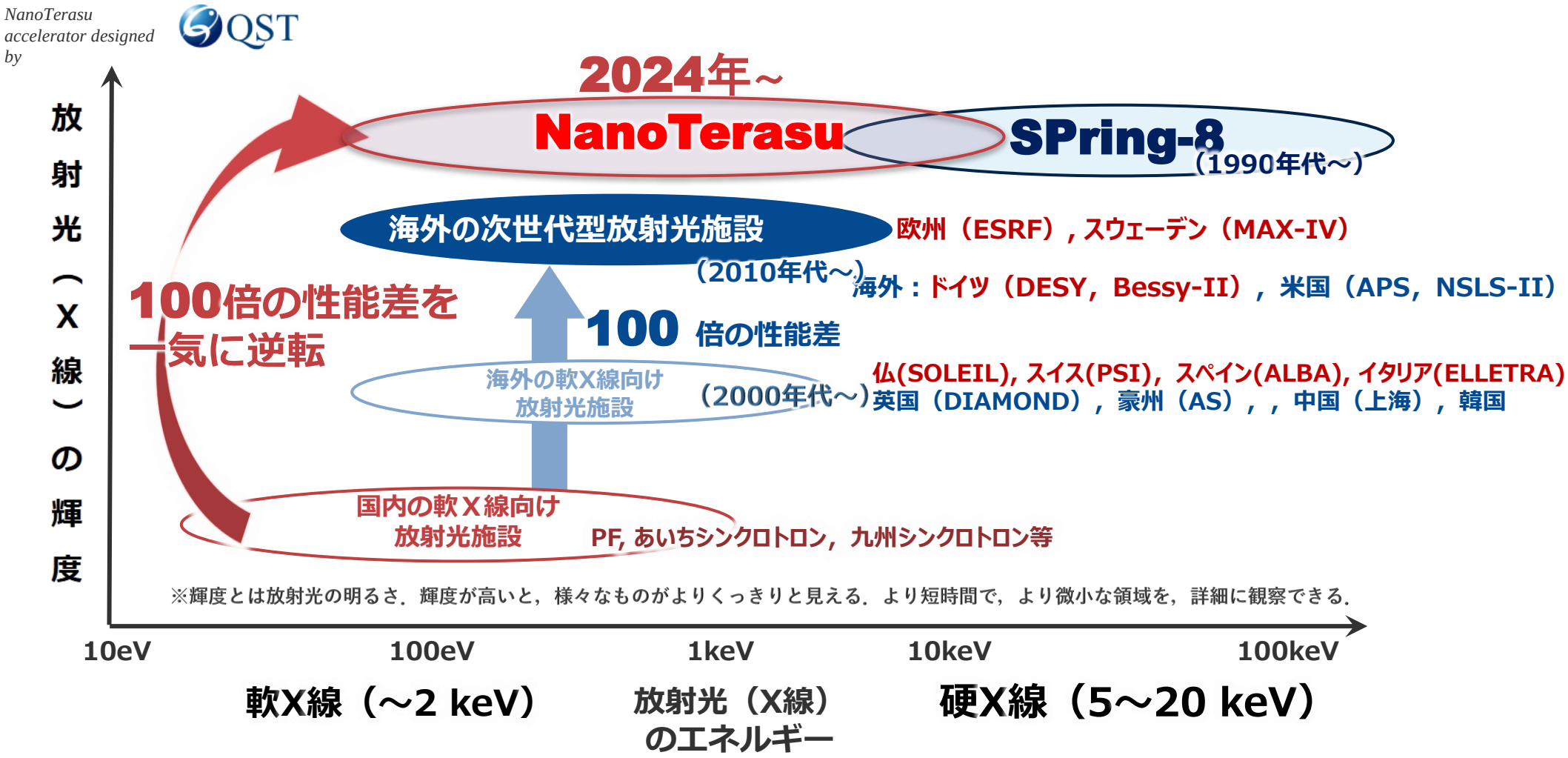
➢NanoTerasuは，東北大学のサイエンスパークとともに，
イノベーションエコシステムのエンジンとして，建設が進められている．

エコタイヤ，IGZOディスプレイ，虫歯予防ガム，軽量コンクリートなど多くの技術開発にも使われています

NanoTerasuの高輝度性は国際競争力に必須

◆国際競争力の弱かった**軟X線領域の光の性能を100倍向上**

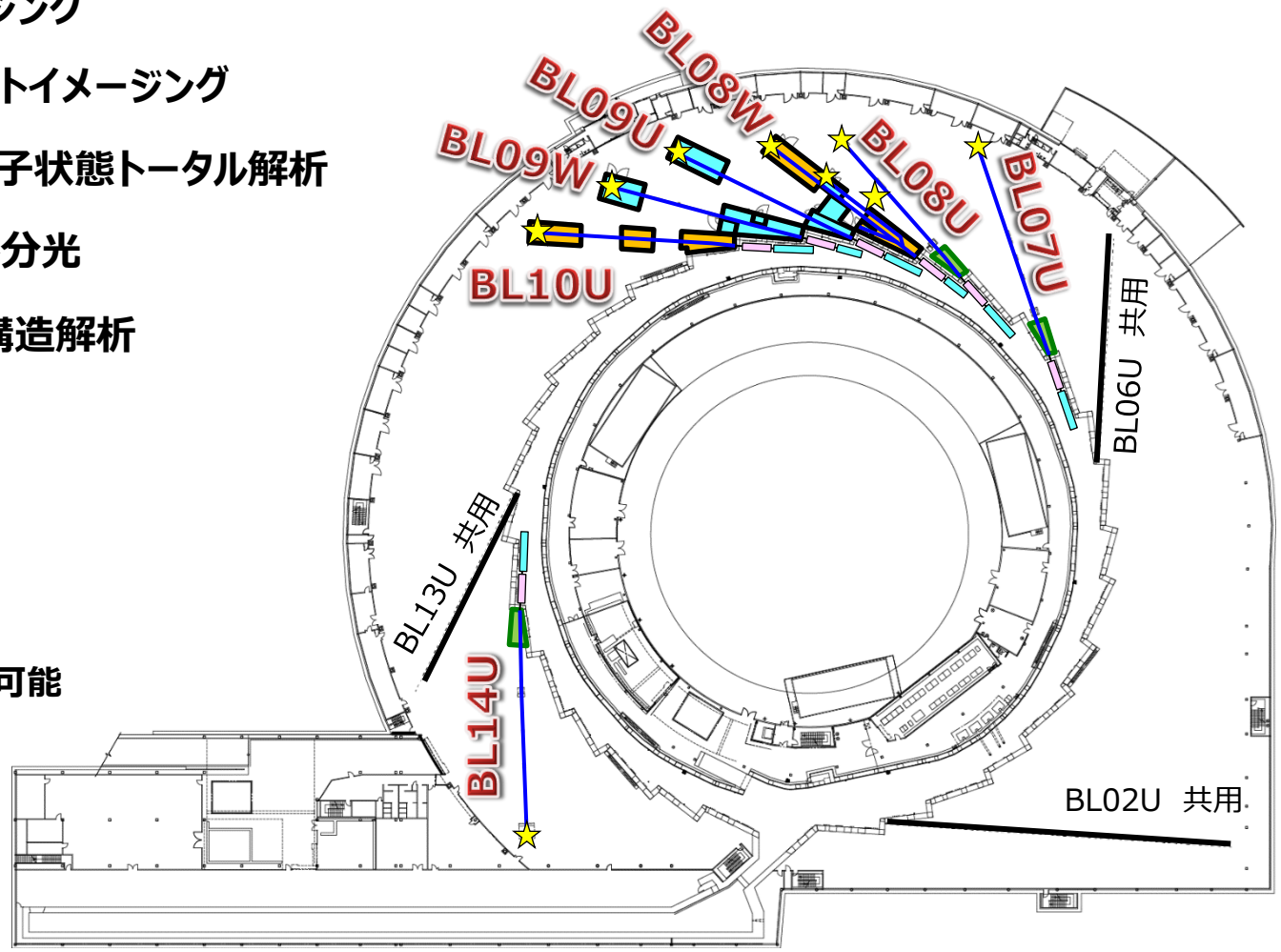
◆触媒，電池，高分子材料，有機デバイス等の**機能に直結する化学状態をナノで可視化**



初期整備7本のコアリションビームライン

- BL07U　軟X線電子状態解析
- BL08U　軟X線オペランド分光
- BL14U　軟X線イメージング
- BL10U　X線コヒーレントイメージング
- BL08W　X線構造-電子状態トータル解析
- BL09U　X線オペランド分光
- BL09W　X線階層的構造解析

7本のコアリションビームラインを活用し，
様々な物質の機能を可視化



軟X線
テンダーX線～硬X線
硬X線

施設全体で28本のBLが設置可能

アンジュレータBL(U)　14本
ウィグラーBL (W) 14本

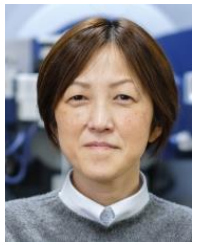
基盤利用から先端利用まで ビームラインの技術をSRISの先生方が整備

７本のビームラインで，化学状態，電子状態，磁性，配向・凝集，歪み，分子構造，の可視化をカ

BL No.（旧番）	BL名称	エネルギー	主要装置	特徴
07U	**軟X線電子状態解析**	0.05~1.0 keV	軟X線発光分光	デバイスや溶液を含む複雑系の電子状態や化学状態の分析
08U	**軟X線オペランド分光**	0.18~2.0 keV	雰囲気光電子分光	固体の電子状態・化学状態のオペランド時空間マッピング，リアルタイム観察
14U	**軟X線イメージング**	0.20~1.4 keV	軟X線顕微鏡	ナノ構造の元素分布，磁性，ダイナミクスを含む高分解能分光イメージング
08W	**局所構造解析**	2.1~13 keV	X線吸収分光 (XAFS), SAXS, WAXS, XRD	構造解析および自動測定
09U	**X線オペランド分光**	5~15 keV	硬X線光電子分光	バルク内部や埋もれた界面の化学状態
09W	**階層構造**	4.4~30 keV	4D高速X線トモグラフィ	X線CTによる内部構造の可視化
10U	**X線コヒーレントイメージング**	2.1~15 keV	コヒーレント回折イメージング	内部構造の高分解能可視化

原田 慈久 教授 *(BL07U)*

松田 巌 教授 *(BL08U)*



西堀 麻衣子 教授 *(BL08W)*

山本 達 准教授 *(BL09U)*

矢代 航 教授 *(BL09W)*

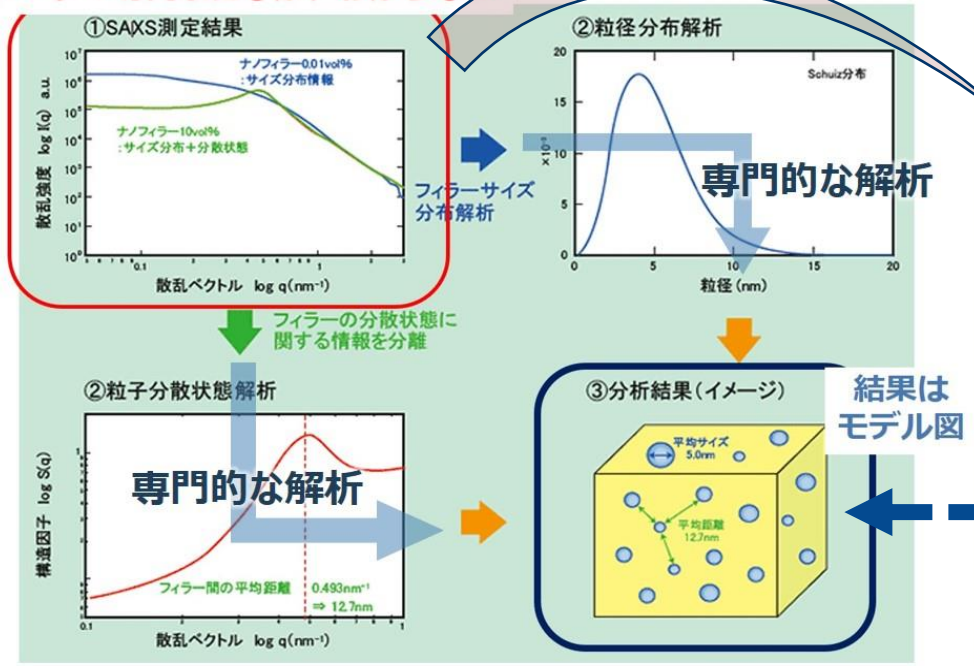
高橋 幸生 教授 *(BL10U)*

江島 茂雄 准教授 *(BL14U)*

SPring-8との違い　可視化でサイエンスとモノづくりをつなぐ

放射光利用における課題

データ：専門家にしか、わからない



SAXSプロファイルを解析し，球状ナノフィラーのサイズ分布，分散状態(平均距離)を評価

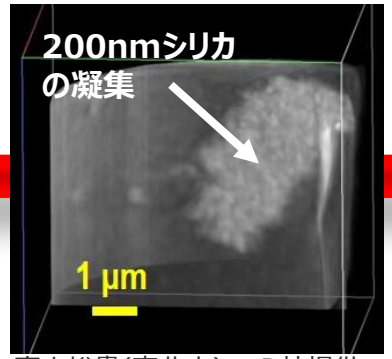
三井化学分析センター株式会社　Webサイト

仮説検証サイクルを高速化.

モノづくり

?

ゴム中のフィラーの可視化



高山裕貴(東北大)，　D社提供

データ科学
AI 等

課題解決

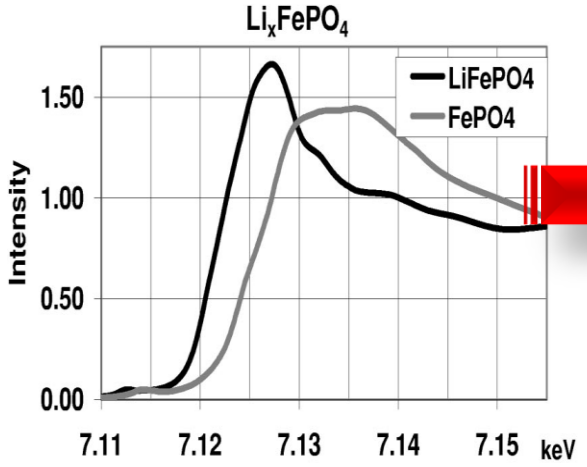
電池開発：平均構造のスペクトルから 不均一系・複雑系の化学結合の可視化へ

既存の放射光

SSRL（3GeV:米国）　　ALS（2GeV:米国）

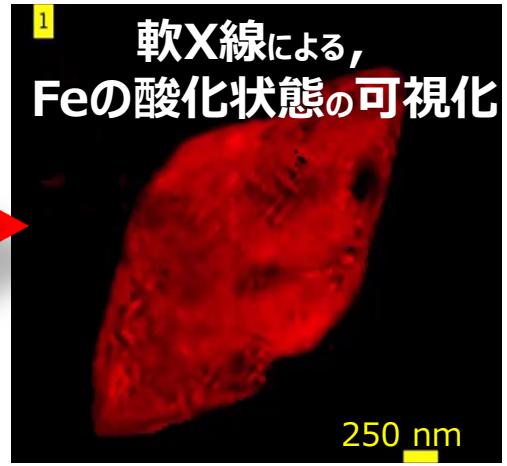
リチウムイオン電池の正極材料　Li_xFePO_4粒子

Feの化学状態による
放射光スペクトル



E. J. Cairns, A. Wokauna
(2005)

"X-ray movies"
コヒーレント・オペランド イメージング



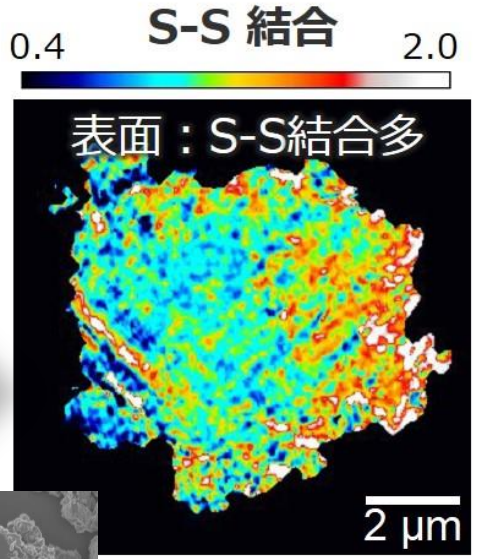
W. Chueh, D. Shapiro
(2016)

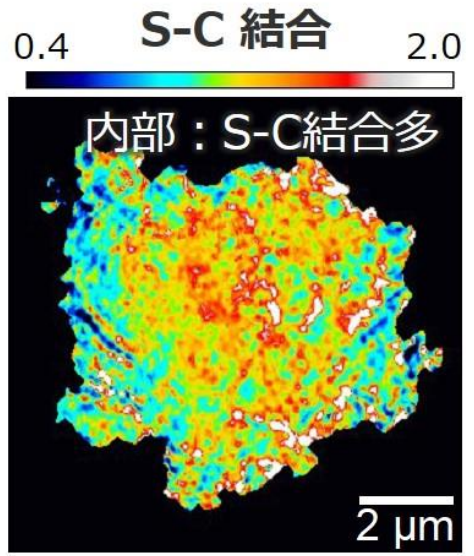
2次元; 分解能~15 nm
軟X線 エネルギー706eV/713eV
1フレーム30 秒

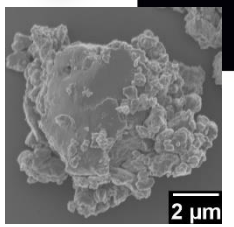
次世代放射光

NanoTerasu（3GeV：日本）

Li-S電池正極材料　硫黄変性ポリブチルメタクリレート







含硫黄高分子材料：硫黄–高分子骨格間に強力な共有結合を形成．硫黄の溶出を抑制

Li-S電池の課題：多硫化リチウム(Li_2S_x,x=4-8)が電解液に溶出

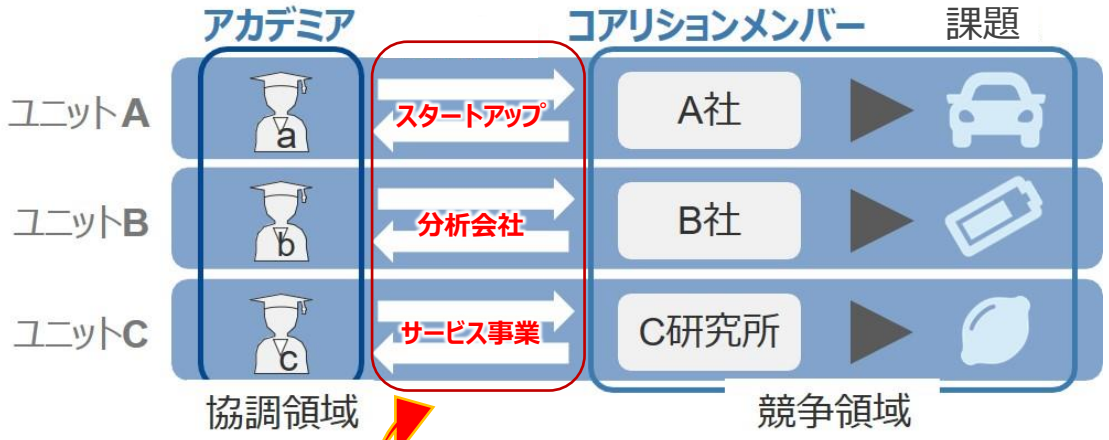
3次元；計測，分解能の10倍～100倍向上

SPring-8との違い（２） インクルーシブなコアリションの形成

- 「コアリション（有志連合）」の理念
  産学双方が強力な一対一の新たなチームを結成(新結合)

- **厳格な情報管理のもと，共創で課題解決を企てるスキーム**

コアリションの形成（イノベーションの源泉）



産業パートナー
- 研究開発における未解決課題の存在
- 専門家による実用指向の利用者支援が必要

アカデミックパートナー
- 測定とデータ分析の専門知識を保有

協調領域と競争領域をつなぐサービス事業群

計測DX技術開発，特殊計測ベンチ開発，可視化ソフトウェア開発，AI・データ解析，
受託計測サービス，情報管理，プロジェクト企画，研究マッチング，人材開拓，etc.

SPring-8との違い（３）　施設利用の手順

SPring-8利用（共用）

申請
半年に1回

利用課題申請

審査

採択

実験

180日

成果公開
論文発表登録（一定期間内）

NanoTerasu利用（コアリション）

30日

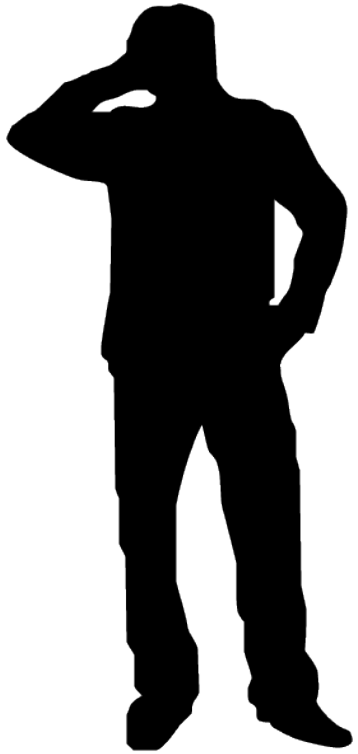
利用申請

申請
月に1回

実験（利用･解析支援　有）

成果専有

- 課題審査が不要　→　R＆Dに専念
  挑戦志向の利用促進
- 毎月配分　→　研究開発の加速
  クレーム対応の迅速化
- 成果専有　→　競争優位構築
  厳正な情報管理
- コアリション　→　産学協創，分野融合の機会拡大



この先端ツールへ

どうアプローチするか？

TDCのケース　ナノレベルでの表面加工精度の評価

株式会社ティ・ディ・シー
代表取締役　赤羽　優子

アカデミック パートナー

小川紘樹
京都大学

多元研イノベーションエクスチェンジ2017 成果報告 ～広がる可能性

2017年12月5日
多元研イノベーションエクスチェンジでの出会い

東北放射光施設って知ってるかな？

すごく画期的な研究施設で産業界の役に立つんだよ！

知りません。

高田教授
高田昌樹
多元物質科学研究所 教授
放射光ナノ構造可視化研究分野

わたし
赤羽優子
㈱ティ・ディ・シー（TDC）
代表取締役社長

高田教授

わたし

むずかしそうだなぁ・・・

翌12月6日
高田教授からメール

赤羽さん　こんにちは。
・・・中略・・
最先端の放射光を用いた計測によって御社の精密研磨技術を高度化することができると思います。ぜひチャレンジしましょう！
高田

え？・・・？

2018年1月
実験開始！

SPring-8

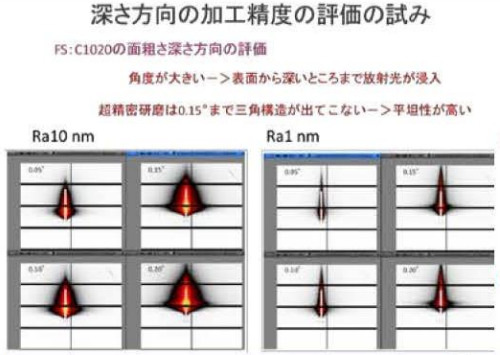
TDC：ナノオーダーで表面粗さの異なるサンプル作成・Spring-8に送付

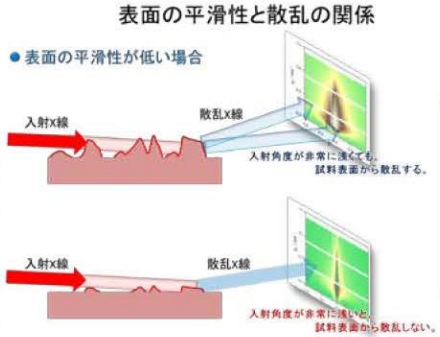
TDCのケース　ナノレベルでの表面加工精度の評価

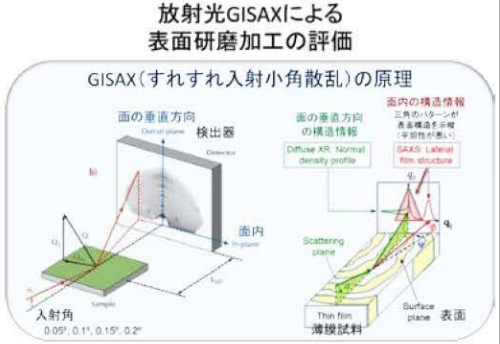
株式会社ティ・ディ・シー
代表取締役　赤羽　優子

2018年4月6日@東京
SLiT-Jコウリションコンファレンスにて口頭発表

「Spring-8での予備実験によって、表面状態のナノレベルの違いを
X線の散乱を用いて評価することに成功しました！」







新聞2社・テレビ1社から
取材が来ました。無料で
会社の宣伝ができました。
採用活動にも効果を期待。

日本中の放射光関連研究者・
技術者とのネットワークがで
きました。ビジネスにつな
がっています。

継続的に実験をし、
世界オンリーワンの新たな
粗さ評価方法を作りたい。
目標ができました。

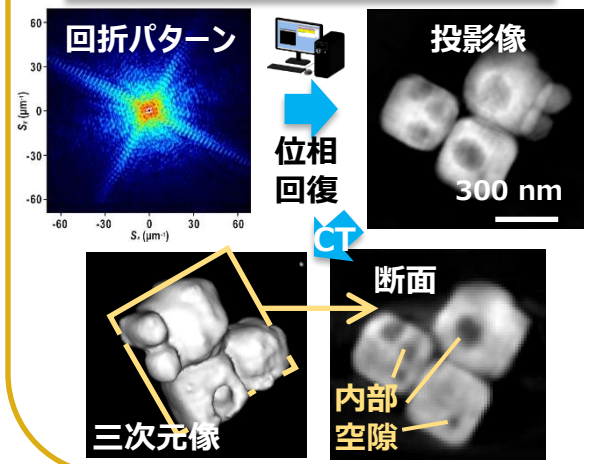
ナノテラスの先端のイメージング技術の可能性

・高品質なX線と計算科学の融合により，電子顕微鏡では観察できない厚い材料試料の内部を従来のX線顕微鏡を超える空間分解能で観察

→ 湿潤空気や酸化・還元雰囲気下など，
自然な状態・機能環境の材料のナノ構造評価法を産業界に提供

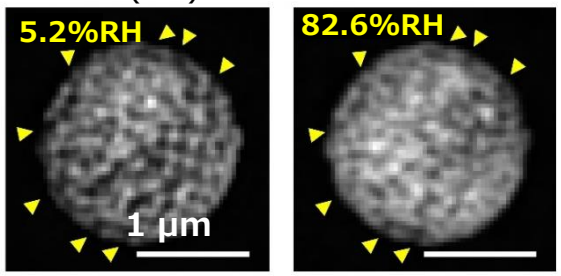
大気環境下で観察可能なレンズレス・ナノイメージング法を開発

機能性金粒子の三次元構造観察



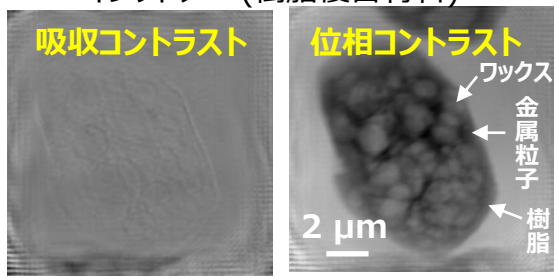
多孔シリカ粒子への水蒸気吸着

相対湿度(RH)5～96%でマクロポアを評価



吸収のほとんど無い有機材料

インクトナー（樹脂複合材料）



コヒーレント回折イメージング/タイコグラフィー法により
エネルギーデバイスや有機複合材料など，
広範な材料のナノ組織構造を非侵襲・高コントラスト評価

青葉化成のケース：　食品における油脂分布評価法の開発

令和3年度「仙台市放射光施設活用事例創出事業（トライアルユース事業）」

コーディネート

仙台青葉学院短期大学
教授　遠藤憲子

経産省東北経済産業局
東北大学産学連携機構

高田

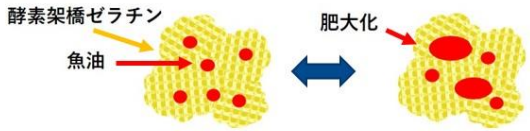
アカデミック パートナー

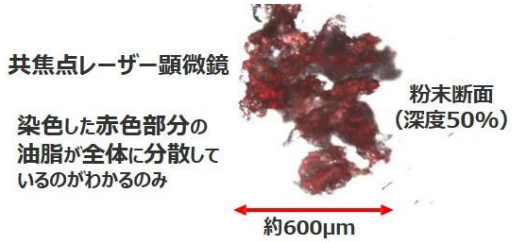
高山裕貴
（兵庫県立大→　東北大SRIS）

DHA 100 mg/g入り魚油パウダー

※特許第6217986号公報

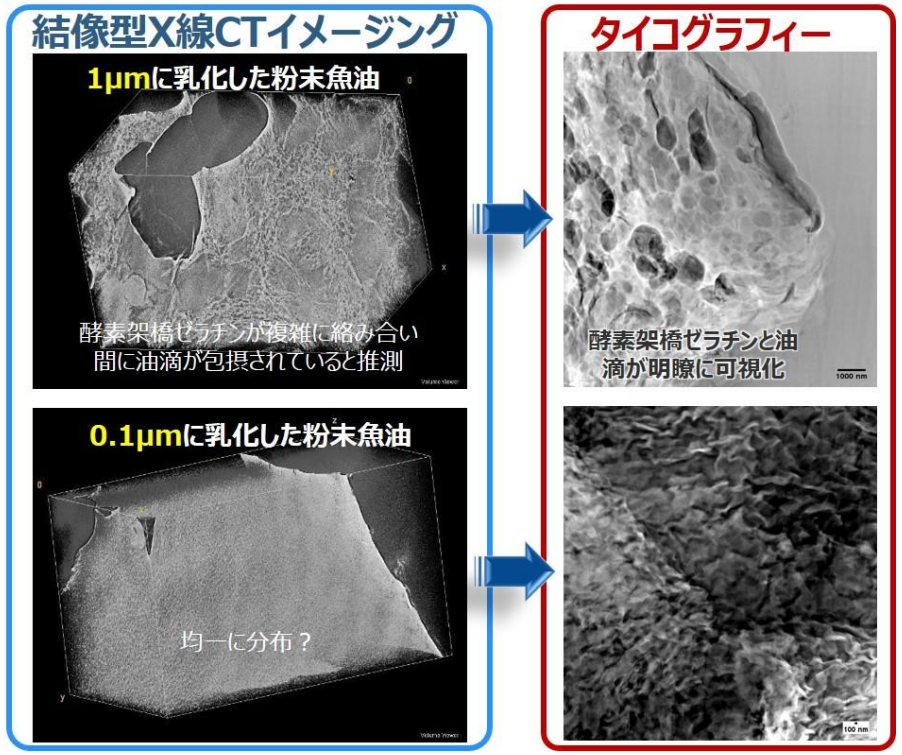
✓ 粉末魚油の製品改良を検討
✓ 内部構造評価が必要





➢油滴の大きさは、酸化安定性等に影響

➢1μmの乳化径の維持を評価したい



小角散乱等の基盤計測による評価へフィードバック

https://www.city.sendai.jp/renkesuishin/jigyosha/kezai/sangaku/documents/happyou.pdf

ナノテラスなら0.1μmの評価が可能

コアリション：地域産業，学術による地域イノベーションの源泉

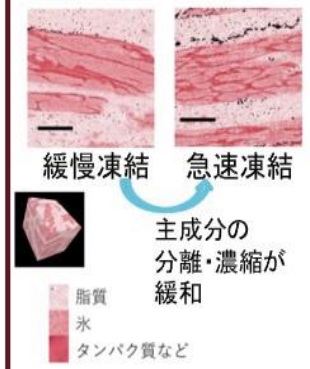
◆**100社を超える企業，60社を超える東北地域の中小企業**，東北大学をはじめとする**国立大学，私立大学，国立研究所が，コアリションの形成**を進行中．

◆**東北大学，仙台市，宮城県と連携**し，マッチング（**トライアルユース事業**）を推進し，地域産業の活性化にむけた産学連携が進んでいる．

放射光トライアルユース事業との連携 （マッチング支援）仙台市の例

石巻市

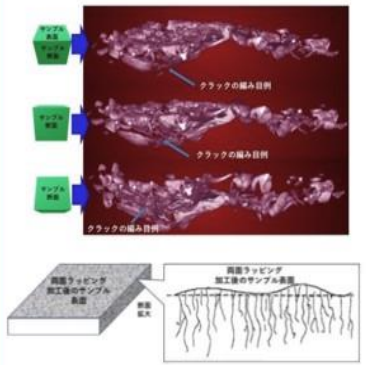
放射光イメージングで凍結状態の魚類筋肉主成分をリアルタイムに可視化



産)有限会社マルセ秋山商店
学) SRIS 展開研究部門
地域)宮城県食品産業協議会

新庄市

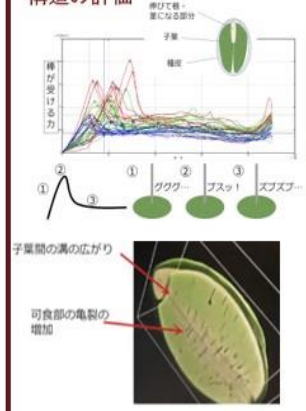
放射光CT計測による平板状光学・電子デバイス用材料の鏡面加工に伴う破砕層の可視化



産)アヒコファインテック株式会社
学)SRIS 基幹研究部門

仙台市

仙台産大豆および枝豆の美味しさの指標に関わる内部構造の評価

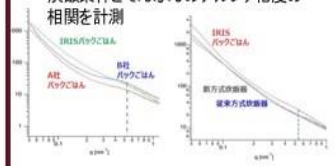


地域)仙台農業協同組合
学)SRIS 展開研究部門

角田市

炊きあがり直後のごはんの「おいしさ」を定量するための放射光を用いた構造分析

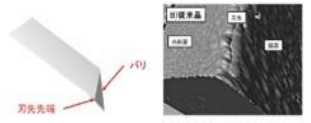
炊飯条件とでんぷんのアルファ化度の相関を計測



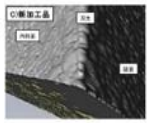
産)アイリスオーヤマ株式会社
学)山形大学、宮城大学

富谷市

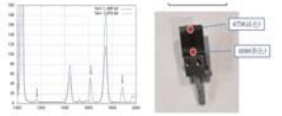
刃物等の鋼材製造の熱処理工程等における歪み・変寸等の要因を分析



刃先を研削加工する際に生じるバリの除去後の刃先を観察
➡ 切れ味の向上指針



刃の硬さ・脆さに関係する結晶相の分布を、刃先と芯部で比較、加工に伴う変質を定量解析



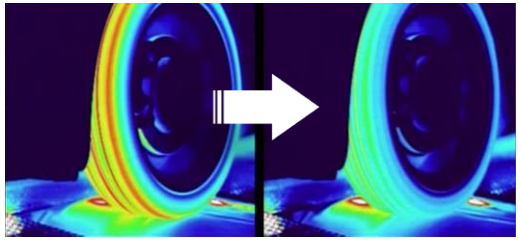
産)東洋刃物株式会社:
学)SRIS 基幹研究部門、仙台高専

しかし，これまでと同じやり方，延長線上の技術・考え方では，

将来の新技術・製品を見出せない

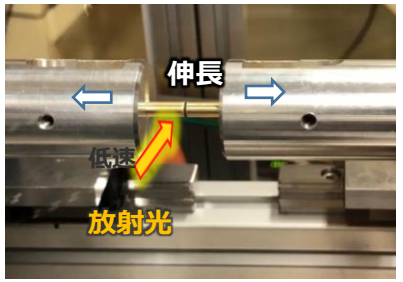
見たことをどう活かせるか？

課題解決の決め手はデータ ～ 研究開発のDX



計測・計算融合による
リサーチコンプレックスの高付加価値化

タイヤゴムの破壊
（オペランド計測）S社



製品・技術

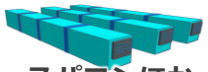
材料，半導体，
デバイス，生命，
創薬，食品，
農林水産業ほか

産業現場
研究開発

学術シーズ

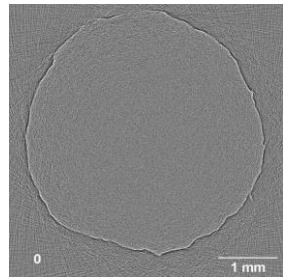
産業ニーズ

NanoTerasu

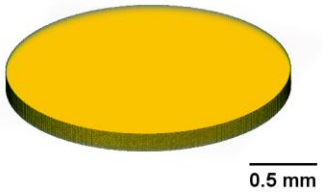

スパコンほか

ナノ世界の精密可視化と
膨大な画像データの生成

世界最先端
計測



ゴムの破壊を
高速で可視化

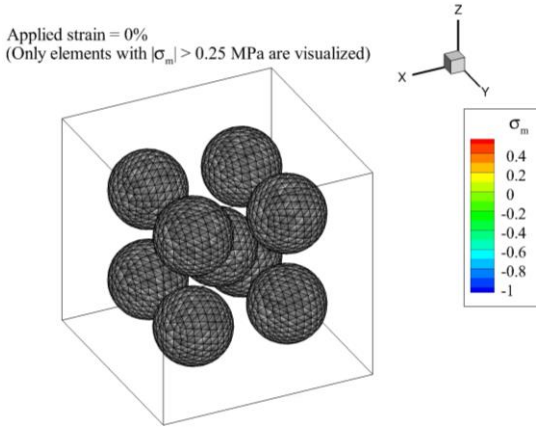


発見・理解

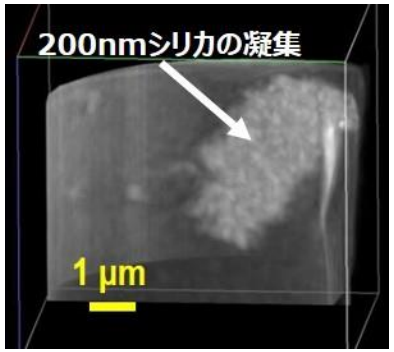
試行錯誤・ノウハウ蓄積
による機能探索

モデル化と予測
計算

科学・理論



AIによる分析，モデル化，
そして
シュミレーションによる予測へ



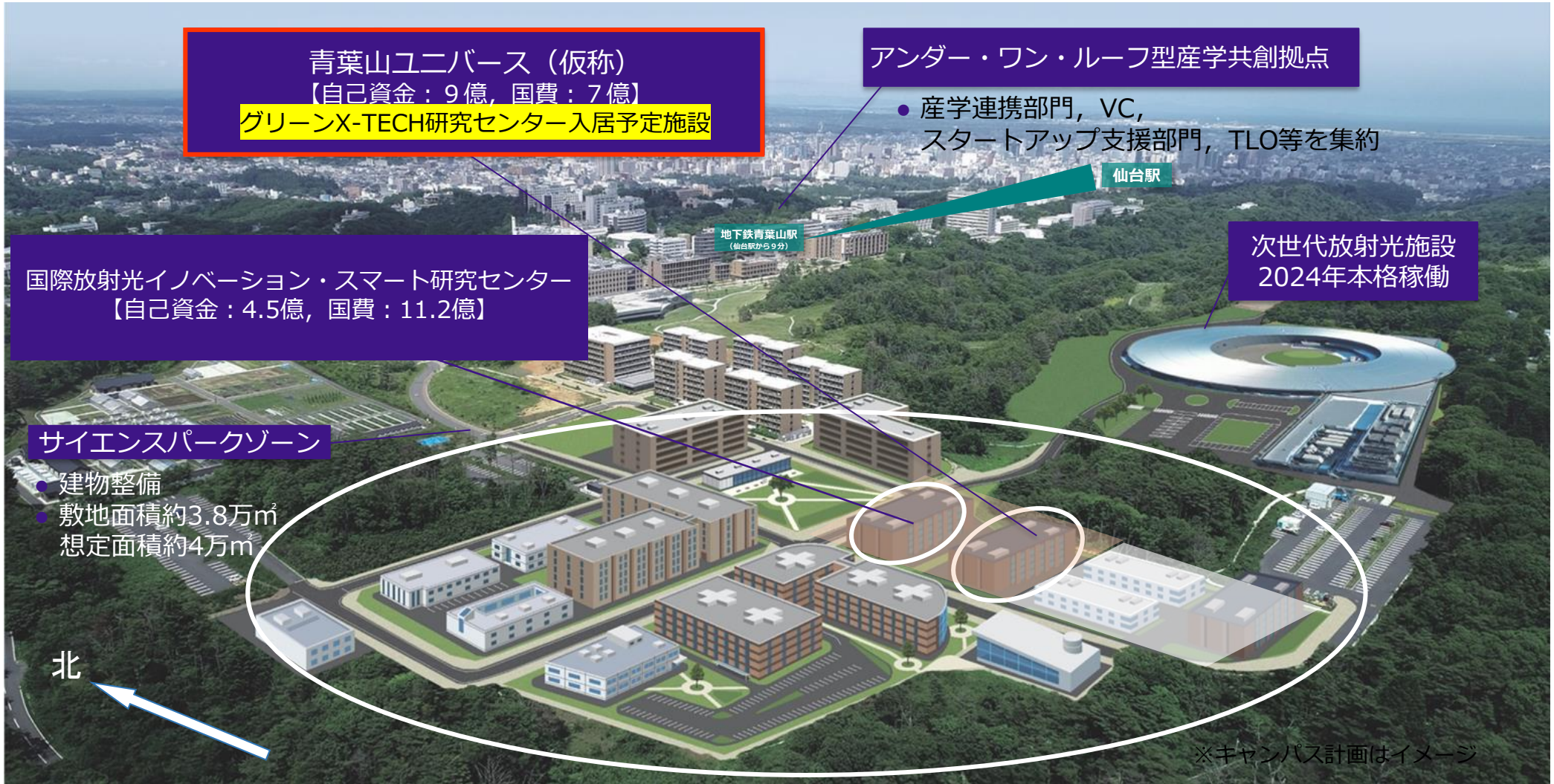
産学官が集う社会実装の場

サイエンスパーク型研究開発拠点整備を加速

- 大学債を活用して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，仙台市および宮城県と密接に連携
- 今後，大学債を財源として民間企業を誘致し，産学共創拠点を拡張.

サイエンスパークとは？

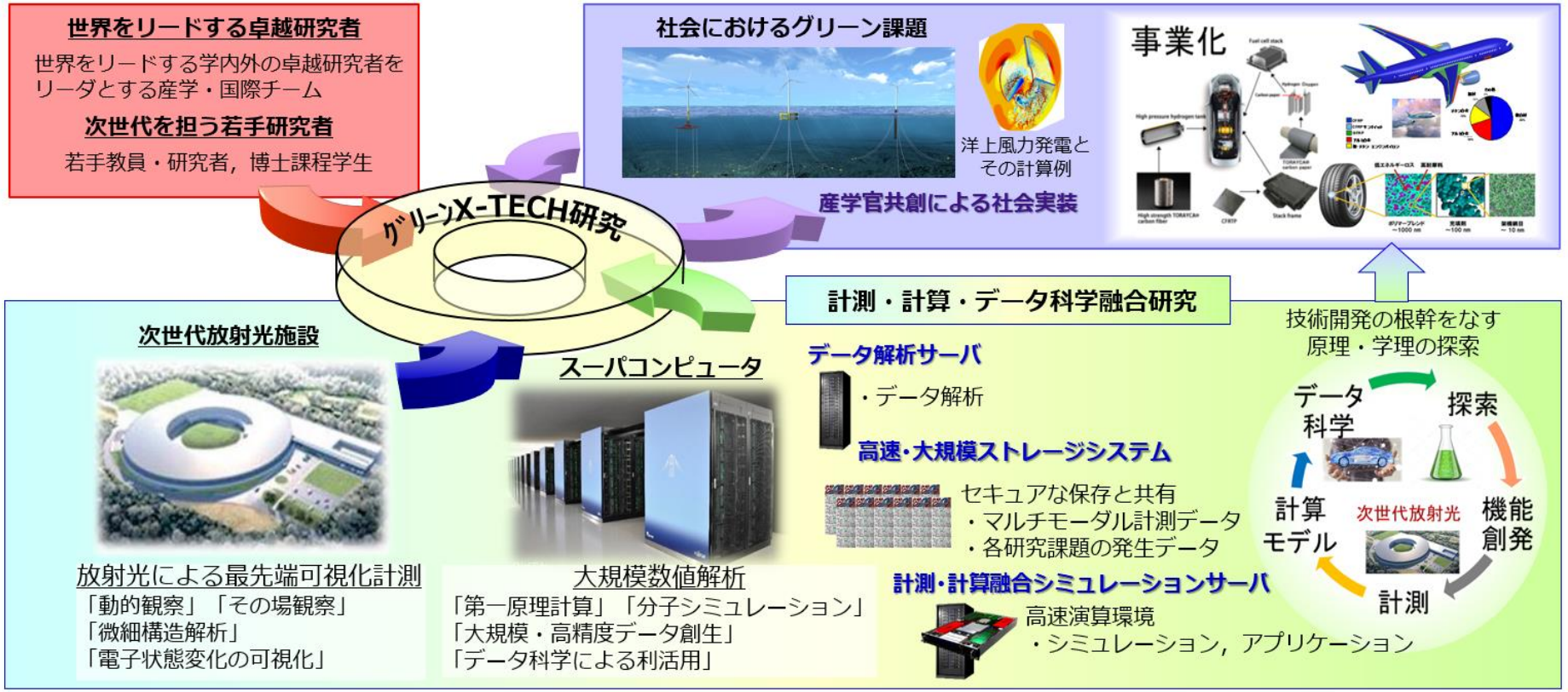
東北大学キャンパスにおいて，
産学官が結集して，大学とともに
社会価値創造を行う共創の場



東北大学グリーン未来創造機構　グリーンクロステック研究センター　2023年1月1日設置

センター長
岡部 朋永
東北大 機械系 教授

次世代放射光NanoTerasuを始めとするサイエンスパークを，
利用企業と伴走し，グリーン課題におけるソリューション提案を促進する．
特に，NanoTerasuから得られたデータを
製品開発に直接結びつけるデジタル化の取り組みをサポートする．



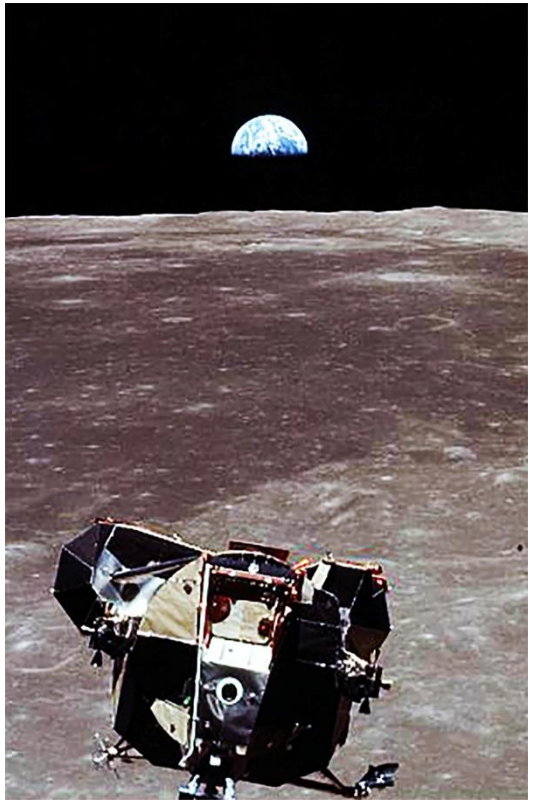
東北大学が提供できる手段およびリソース

- **高度専門人材**
  約3,000人の研究者，研究者ネットワーク，国際連携ネットワーク
- **専門組織**
  国際放射光イノベーション・スマート研究センター，グリーンクロステック研究センター，未踏スケールデータ　アナリティクスセンター，サイバーサイエンスセンターほか
- **高度研究設備**
  クライオ電子顕微鏡，NMR装置，データストレージ，計算サーバー，スーパーコンピューター，ネットワーク基盤 TAINS，SINET6 ほか
- **サイエンスパークをはじめとする施設**
  サイエンスパーク（造成済・40,000m^2），青葉山ユニバース（新営・4,000m^2），国際放射光イノベーション・スマート研究センター棟（新営・4,000m^2）ほか
- **各種の産学連携メニュー**
  技術相談，学術指導，共同研究，受託研究，共同研究講座（部門），寄附講座（部門），共創研究所（2021年新設・現在13社が設置）
- **スタートアップ創出支援メニュー**
  東北大学ベンチャーパートナーズ1号および2号ファンド，ギャップファンド，アントレ育成プログラム，スター　トアップガレージ，知財およびストックオプション等の活用支援など
- **結節点となる子会社**
  サイエンスパーク関連子会社（計測分析の商品開発活用に係るコンサルティングなど）
- **国プロほか外部からの各種研究開発ファンディング**
  次期SIP「サーキュラーエコノミーシステムの構築」ほか

アポロ計画に学ぶ

ミッション → 様々な課題 → イノベーション（新しい結合）が生まれる

ミッション：月へ人類を送り込む



1969年7月20日
アポロ11号

Copyright Rice University

ジョン・F・ケネディ
第35代米国大統領
1961年 – 1963年

我々が10年以内に月に行こうと決めたのは，それが容易だからではありません．むしろ困難だからです．この目標が，我々のもつ行動力や技術の最善といえるものを集結しそれがどれほどのものかを知るのに役立つこととなるからです．その挑戦こそ，我々が受けて立つことを望み，先延ばしすることを望まないものだからです．そして，これこそが，我々が勝ち取ろうと志すものであり，我々以外にとってもそうだからです．

1962年9 月12日

イノベーション（新結合）

燃料電池，カメラ付き携帯電話，アスレチックシューズ，浄水器，
フリーズドライ食品，ワイヤレスヘッドホン，粉ミルク，
義肢，傷つきにくいレンズ，LED，断熱材，緊急ブランケット

フラッグシップミッションの例

サーキュラーエコノミー（CE）システムの構築

CE三原則
1) 廃棄や汚染を取り除く
2) 製品・原材料を，高い価値を保ったまま循環させつづける
3) 自然を再生する

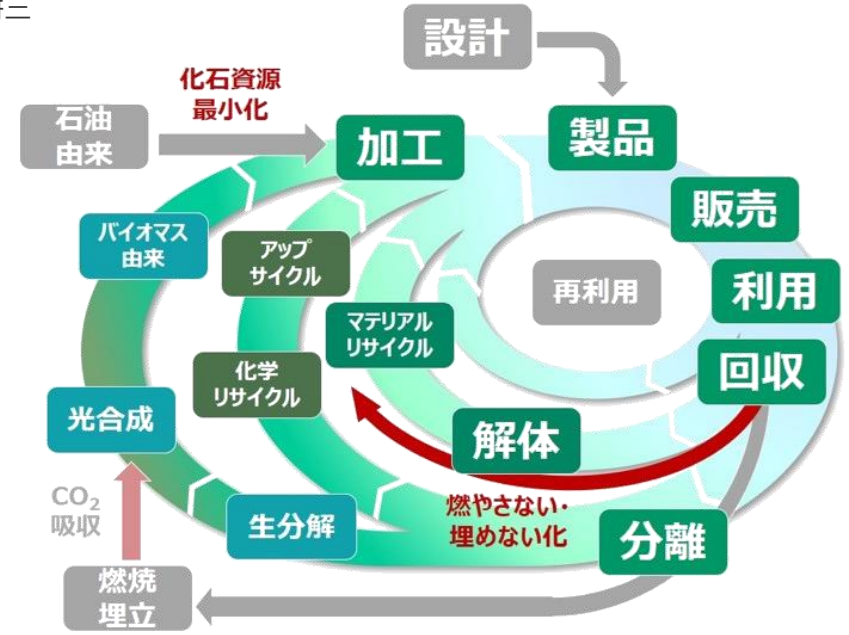
- **環境対応が産業の生死に関わる時代**
  - **欧州などで環境規制の動きに対応できなければ，サプライチェーンから締め出される可能性**

次期SIP
PD候補 伊藤耕三

日本の温室効果ガス全体排出量の1.5%低減を目指し

グローバルリーディング企業とアカデミアが連携 **燃やさない・埋めないポリマー素材**を開発

岡部朋永
東北大・工・
機械系



https://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/pdf/220527_sip1.pdf

CO_2排出量削減・資源循環の両立を可能とする
エコシステムを構築

革新技術開発

最先端化学（動的架橋など）**や放射光・MIなどの駆使**により、**非化石資源由来の原料率と耐久性を両立**した**革新的ポリマー材料を開発**し、海外特に欧州の環境規制や国際標準化における主導権を握ることで、**我が国の産業競争力向上**を推進する。

リサイクル革新技術開発 / 革新的資源生産性向上技術開発 / アップサイクル革新技術開発 / 革新技術統合製品開発 / バイオマス由来素材技術開発

サプライチェーン全体高度化

プラスチックライフサイクル全体を俯瞰した**資源循環を促す社会システムの構築**が喫緊の課題。他方、リサイクル材やバイオプラスチック等代替素材をはじめとする低環境負荷材料は現状では製造コストが高く、今後、**消費者やメーカーをはじめ社会的に受容し得るシステムづくり**が必要。そのためには、**サプライチェーン全体での社会イノベーションの実現**が必要。

情報基盤の構築 / トレーサビリティ / 分別・回収PF / 需給マッチングPF / 環境評価/消費者コミュニケーション

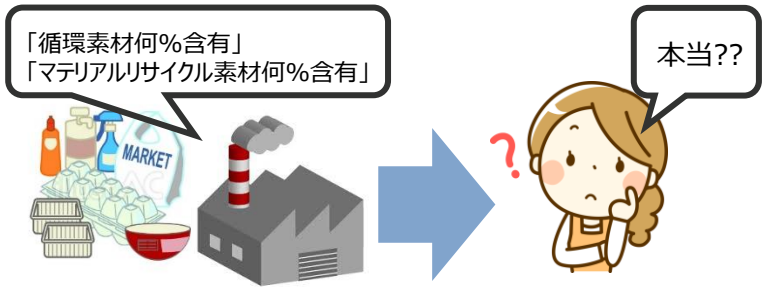
プラスチック資源循環の持続可能性追求

プラスチックの3Rに加えバイオプラスチックの導入を基軸とした**プラスチックの持続可能な資源循環を実現**するための**動脈産業と静脈産業の融合を構築**することが必要。さらに、環境政策を支える**3R技術のアップ展開**と**バイオプラスチックの導入促進に向けた技術開発**を推進する。

基幹産業技術をアップ展開する3R技術開発 / バイオ素材導入を可能とする原料化技術開発 / 3R+Renewableの環境影響評価 / サーキュラーエコノミー実現のための社会システム・経済学的評価

CEシステムの構築に貢献する規格・標準化

CEに関する標準規格＆標準必須特許(SEP)と，CE市場の設計がカギ



CE素材・製品についての信頼性

- 信頼性を裏付けるための分析手法がわからない．未整備である．
- 科学的な動静脈上の共通プラットホームがない．
- 知るべき科学的な情報がわからない，共通化されていない．
  例えば，規格や標準などがない．

CE素材・製品のライフサイクルデザイン

- 用途に適した素材・製品のライフサイクルがわからない．

循環因子をマクロ分析とNanoTerasuによるミクロ分析により規格・標準化する．

NanoTerasuが開発素材・製品（動脈）から分離回収品・リサイクル材（静脈）まで
包括的に分析を担い，動静脈企業と連携することで各素材・製品の規格・標準を決定する．

公的共有財産であるNanoTerasuが科学的な精密分析によって客観的に各素材・製品の
循環因子を決定(保証)し，標準化の決定や規格をパスポートとして発行する．
DPP（ディジタル プロダクト パスポート）

パスポート

大企業から中小企業まで巻き込んだ課題への取り組み

社長や技術担当責任者との長時間にわたる意見交換

次期SIP
PD候補 伊藤耕三

岡部朋永
東北大・工・
機械系

■ 動静脈・静動脈連携の実現に資する国内の取組について、現地視察や意見交換などを通して**課題の抽出と整理**や**デジタル化の現状把握、SIP目標の設定等に必要な情報**の収集を実施

＜サイトビジット先＞

セイコーエプソン株式会社（9/27）
- ❶ 広丘事業所（塩尻市）
- ❷ 神林事業所（松本市）

遠東石塚グリーンペット株式会社（10/20）
- ❸ 東京工場（猿島郡境町）

協栄産業株式会社（11/17）
- ❹ 東日本FtoPファクトリー（笠間市）

グリーンサイクルシステムズ株式会社（11/21）
- ❺ 本社工場（千葉市）

J&T環境株式会社（11/29）
- ❻ 横浜工場（横浜市）
- ❼ 川崎工場（川崎市）

株式会社　富山環境整備（12/4）
- ❽ 本社工場（富山市）

利用企業は，何を求めているか？

◆ 今後，市場で勝ち残るためには，何が必要か？

課題の本質を共有できる場

◆　高い専門性に裏付けされ，市場が求める製品開発を

支援するツールと利用コンサルティング

◆継続した利用相談

都度の新課題への活用の提案

ナノテラスの利用：地域の中小企業に<u>かかりつけ医</u>が必要

川崎市ホームページより転載

公設試：コンサルティング
トライアルユース

大学：高い専門性

金融：市場環境の情報

PhoSIC：利用支援

.
.

私たちは，

ものづくり企業，地域，大学，東北経済産業局と手を携えて

企業価値の創出と世界に誇る日本の競争力を高めていきたい

と考えています．

皆様のご理解・ご支援，　そして，ご参画をお待ちしています

ご清聴　ありがとうございました