

次世代放射光 NanoTerasu（ナノテラス）が創る社会

Enlighten the Nano Universe to Drive a Sustainable World



高田 昌樹

東北大学 総長特別補佐

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（ナノテラス）計画は

2011年3月11日の東日本大震災の一週間後に、

東北放射光施設 建設計画として始まりました。

東北再生経済研究会 News Letter SAISEI (2020) Vol.52 P1-4 @ 理研 SPring-8

@ 理研 SPring-8



✓2011年8月6日：東北大学有志に構想資料を託す @京都 鴨川

東日本大震災は

この計画を推進してきた私達の中で、

常に、特別なことで あり続けています。



2015年5月 七ヶ浜にて撮影 高田

東北放射光計画の推進 2011年～2018年

- 2011年 12月 東北七大学有志 「東日本における新時代中型高輝度放射光施設」趣意書
- 2012年 6月 東北七大学 「東北放射光施設推進会議」を発足
- 2014年 7月 「東北放射光施設推進協議会」設立
(共同代表：宮城県知事、東北経済連合会会長、東北大学総長)
- 2015年 6月 コアリション・コンセプトの創成へ
- 2016年 12月 一般財団法人 光科学イノベーションセンター(PhoSIC)設立



2016年6月 施設のコンセプト・デザインの発表と国際評価



濱 広幸
(東北大学)

東北放射光施設計画 “SLiT-J”
3GeV 高輝度光源加速器システム提案書
v2.0

Synchrotron Light in Tohoku Japan
SLiT-J Design Report
v2.0

2016年3月
東北放射光施設計画推進室
SLiT-Jデザインチーム

東北放射光施設計画 国際評価委員会メンバー
“The SLiT-J project International Review Committee”

委員長 Jerome Hastings 教授 (USA) Professor SLAC National Accelerator Laboratory	副委員長 石川 哲也 博士 (JPN) Tetsuya Ishikawa 理化学研究所 放射光科学総合研究センター長	Marie-Emmanuelle Couprie 博士 (FRA) Group Leader of Magnets and Insertion Device Group SOLEIL	Roger Falcon 教授(USA) Director, Advanced Light Source Professor of Physics, University of California, Berkeley
Andrew Harrison 教授 (GBR) CEO of Diamond Light Source	細野 秀雄 教授 (JPN) Hideo Hosono 東京工業大学 応用セラミクス研究所	梅村 肇 (JPN) Susumu Umemura トヨタ自動車 理事 基盤材料技術 材料技術領域材料 技術統括室長	小杉 信博 教授 (JPN) Nobuhiko Kosugi 分子科学研究所 極端紫外光研究施設 施設長 光子科学研究領域 研究総主幹

次世代放射光建設計画の経緯

2018年6月	地域パートナー選定
2018年9月	量研機構及び地域パートナーとの間で連携協力協定締結
2019年度～	量研機構側は加速器の整備，地域パートナー側用地整備開始
2021年12月	基本建屋への加速器搬入開始
2022年6月	施設の愛称が，NanoTerasu（ナノテラス）に決定
2023年3月	基本建屋の竣工
2023年度中	ファーストビーム（施設の稼働）
2024年度	運用開始（予定）



NanoTerasu（ナノテラス）計画は

東北に、計画が向こうから やってきたのではない のです。

東北が、震災を乗り越えて勝ち取ったもの なのです。

ナノテラスは
私たちがこれから参加し、作り上げていくものだとわかった。

令和5年1月24日 仙台第三高等学校

第3回先端科学講演会～君たちが主役となる舞台です！
NanoTerasu～

ある生徒の感想より

https://sensan.myswan.ed.jp/blogs/blog_entries/view/15719/ff75367eb0deb0e6d021c139e0cbcb3b?frame_id=529

ナノテラスも、建設時は世界一の施設であったとしても、

建設後時間が経つとともに、「古い」ものになってしまうことが 懸念されると思うのですが、

世界一の施設を保ち続けるため、どのようなことを行なっていく予定でしょうか？

令和 5 年 1 月 24 日 仙台第三高等学校

第3回先端科学講演会～君たちが主役となる舞台です！ NanoTerasu～

ある生徒の質問より

https://sengan.myswan.ed.jp/blogs/blog_entries/view/15719/ff75367eb0deb0e6d021c139e0cbcb3b?frame_id=529

東日本大震災などの被災を経験し、人口も減少する東北地域に、

科学技術イノベーションの集積地を作る。

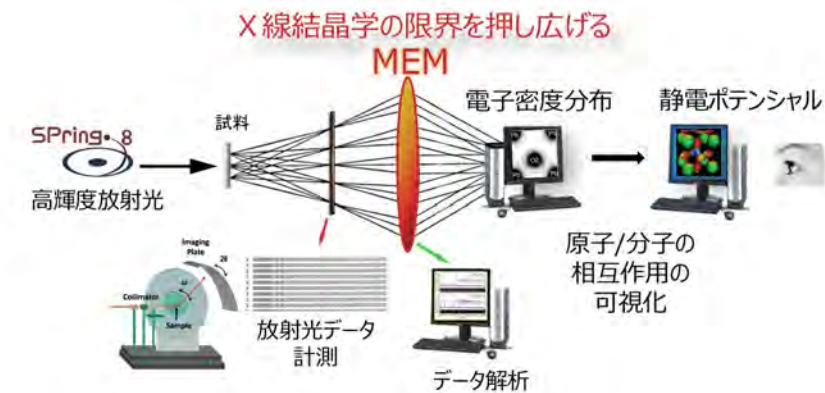
その中心に世界一の施設である放射光施設ナノテラスがある。

そして、次の世代の若もの達が誇りをもって

夢のあるプロジェクトに参加する環境を整える。

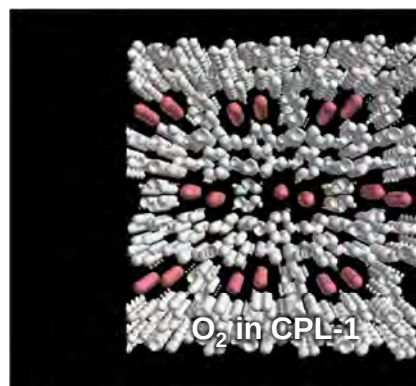
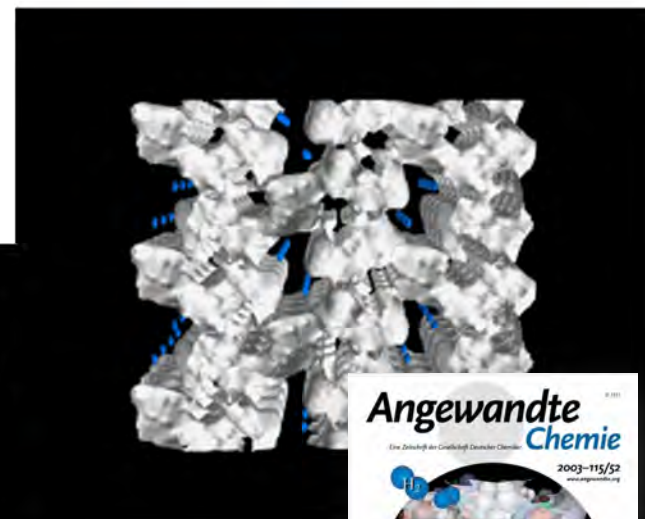
材料中の元素の化学状態を可視化：高輝度放射光と情報理論の融合

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

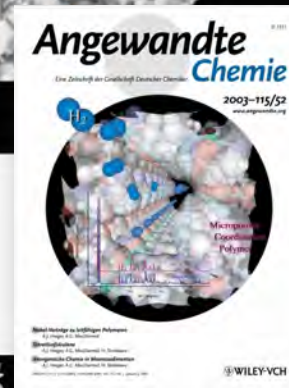


北川 進
京大

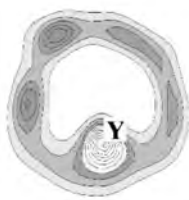
Hydrogen Molecules in MOF



Science 298 (2002) 2358

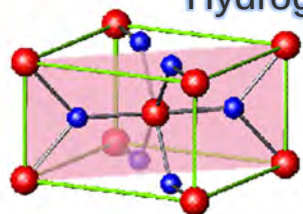


篠原久典
名大

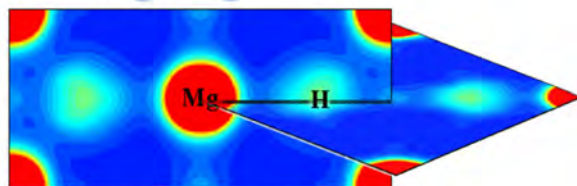


Nature, 1995, 377, 46-49. Y@C₈₂

Hydrogen Storage Mg



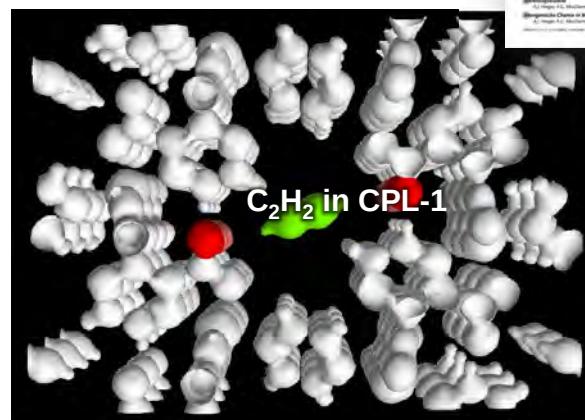
$\text{Mg}^{1.91+} \text{H}^{0.26-}_2$



MEM Density

豊田中研との共同研究

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



Nature 436 (2005) 238

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

GIC
Clean & Comfort by Chemistry

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

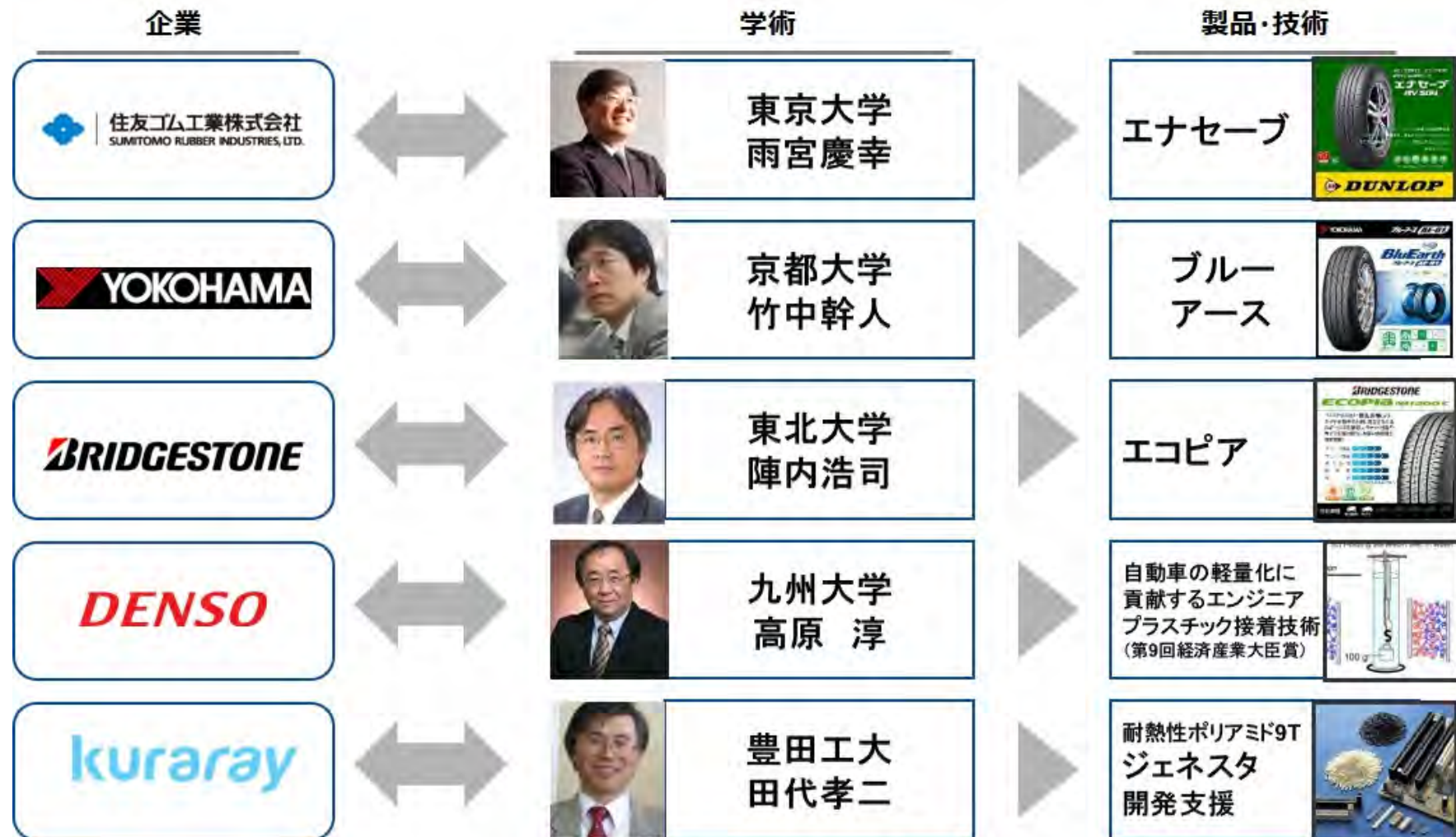
三菱レイヨン

YOKOHAMA



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



企業の製品開発を支援する放射光施設

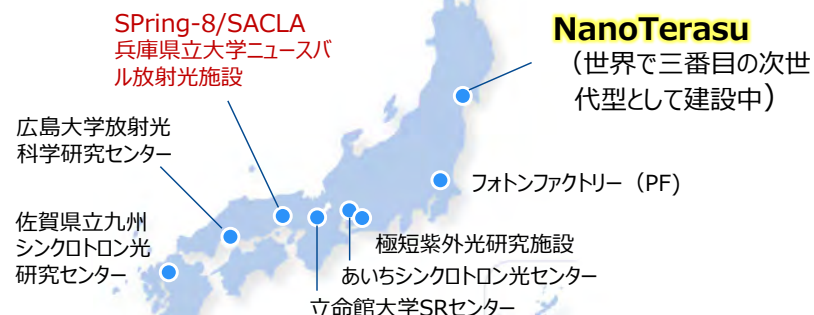
➤ 企業や学術の研究開発での、放射光の有用性は、いまや、世界中で認められている。

➤ **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。



日本の放射光施設

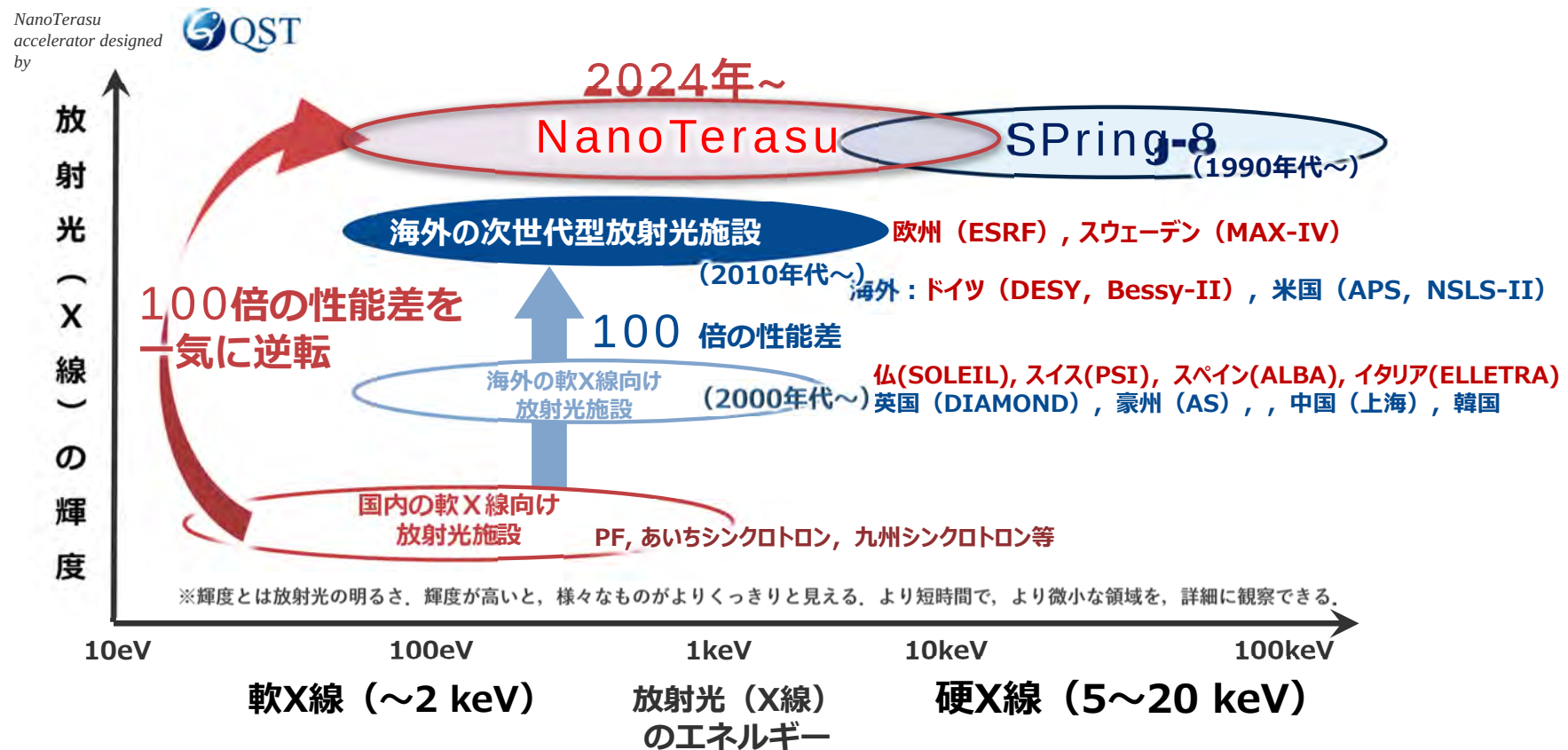


エコタイヤ、IGZOディスプレイ、虫歯予防ガム、軽量コンクリートなど多くの技術開発にも使われています

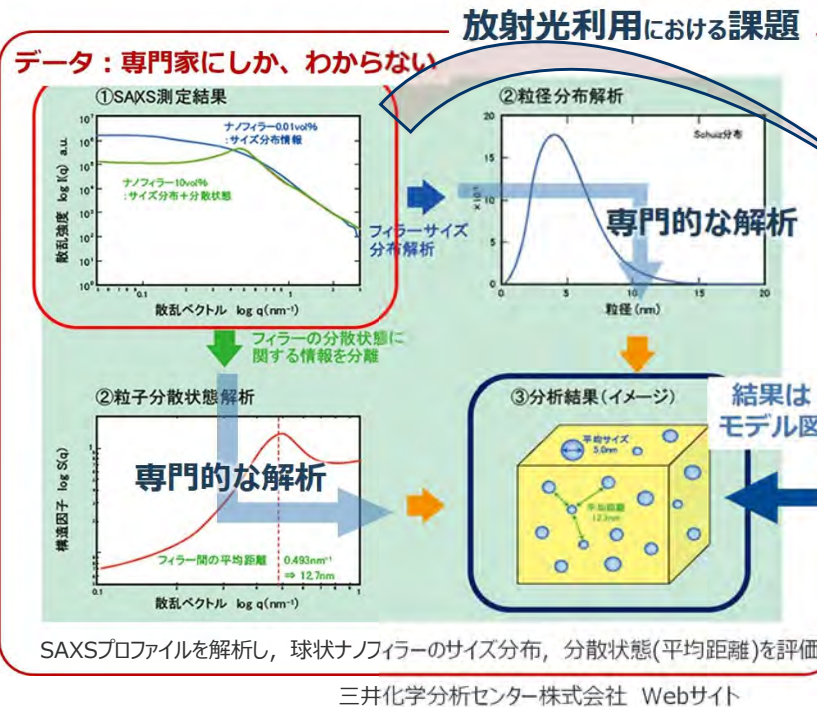
NanoTerasu は SDG's, CEの課題解決に必須

◆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**



可視化でサイエンスとモノづくりをつなぐ

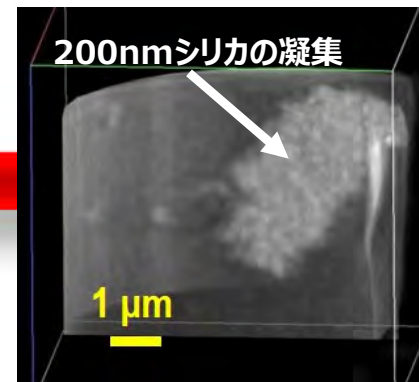


仮説検証サイクルを高速化。

モノづくり



ゴム中のフィラーの可視化



データ科学
AI 等

課題解決



NanoTerasu

高山裕貴(東北大), D社提供

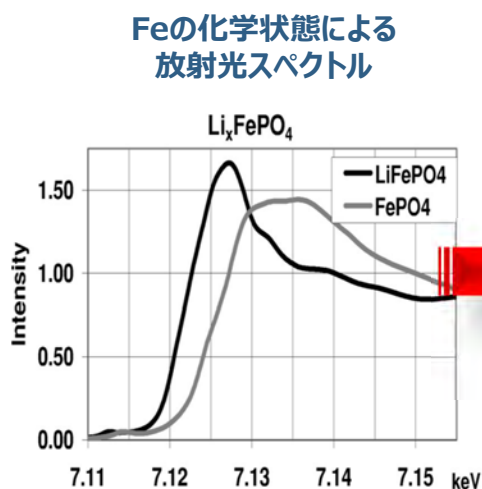
平均構造のスペクトルから 不均一系・複雑系の化学結合の可視化へ

既存の放射光

SSRL (3GeV:米国)

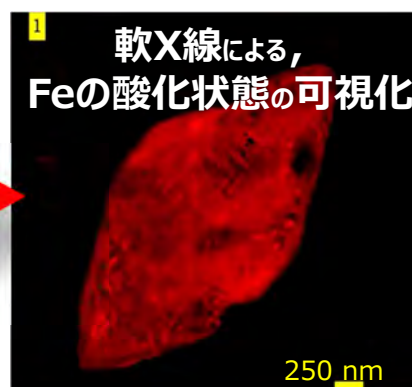
ALS (2GeV:米国)

リチウムイオン電池の正極材料 Li_xFePO_4 粒子



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



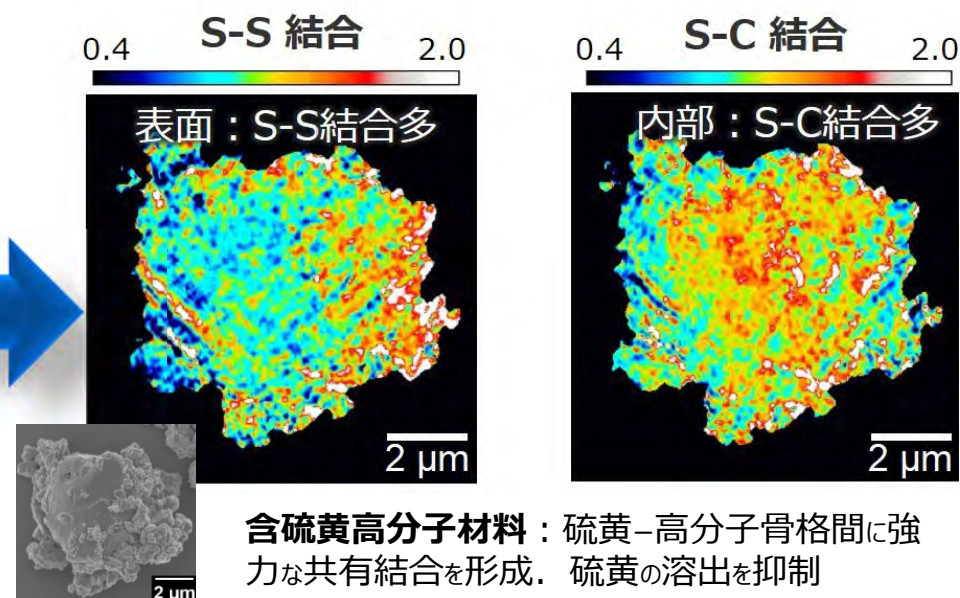
W. Chueh, D. Shapiro
(2016)

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($\text{Li}_2\text{S}_x, x=4-8$)
が電解液に溶出

3次元; 計測, 分解能の10倍~100倍向上

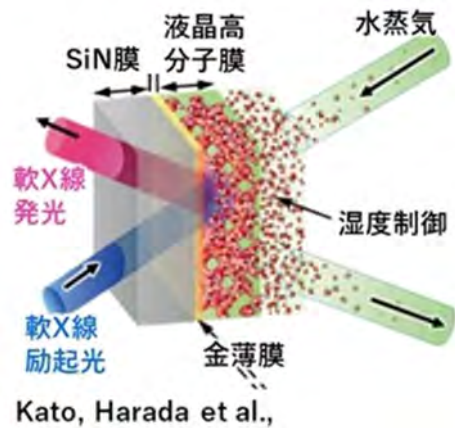
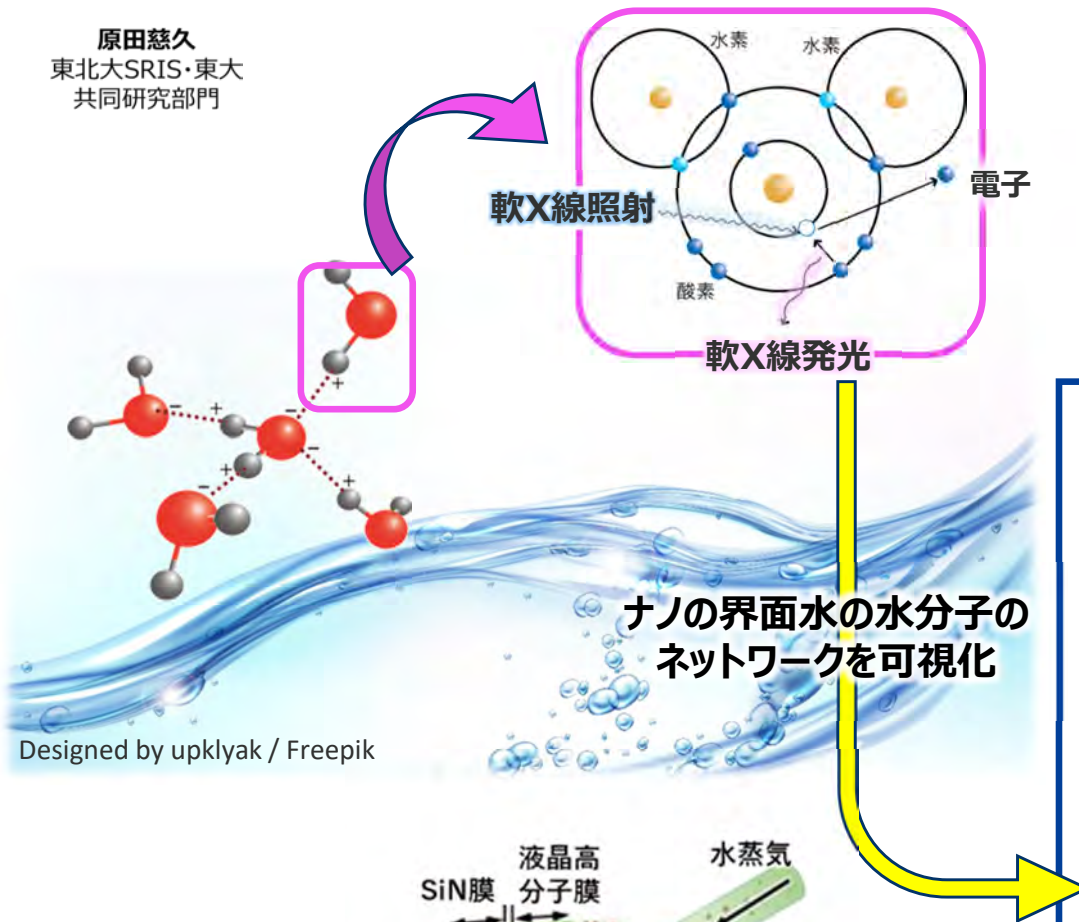
M. Abe, Y. Takahashi, J. Phys. Chem. C **126**, 14047–14057 (2022)

水の見え方が変わる → 医療・ヘルスケア

界面水： 水分子の局所的な配位構造を軟X線分光で可視化する

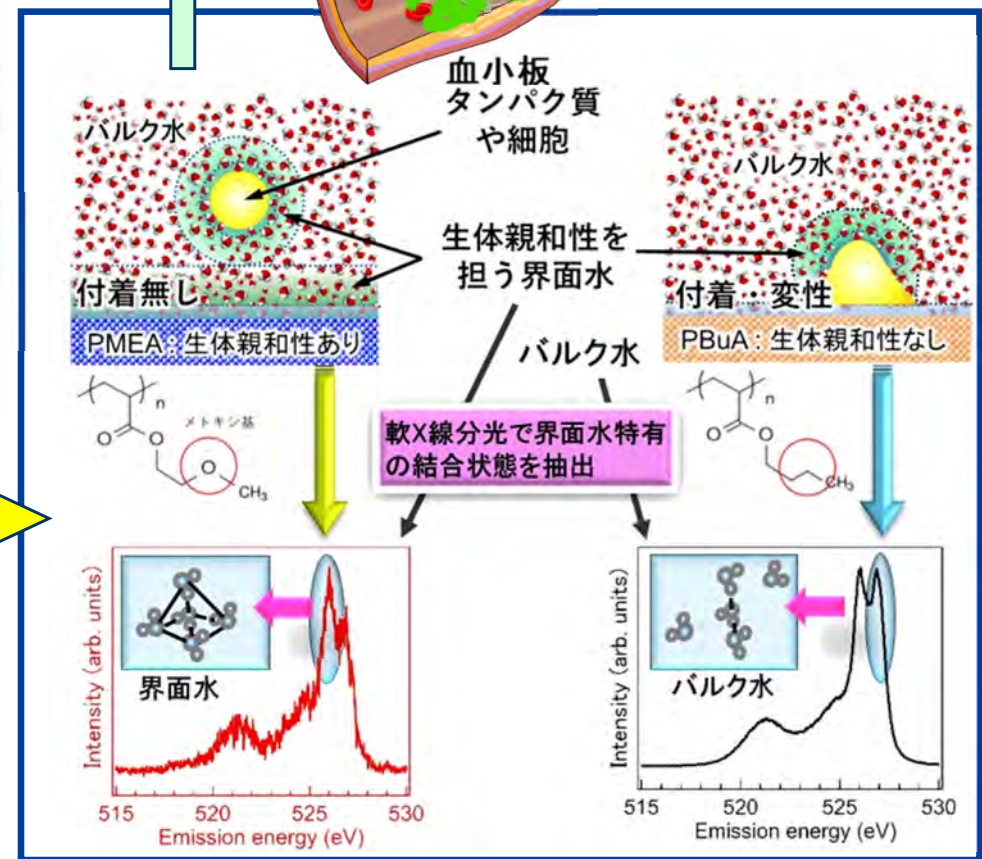


原田 慈久
東北大SRIS・東大
共同研究部門



社会実装

ECMO輸血チューブ
の血栓形成を阻害する
課題を解決



ボール・テクノロジー



<https://kinexon.com/blog/fifa-preferred-provider-live-player-and-ball-tracking/>

分野を融合し、イノベーションを支援する施設

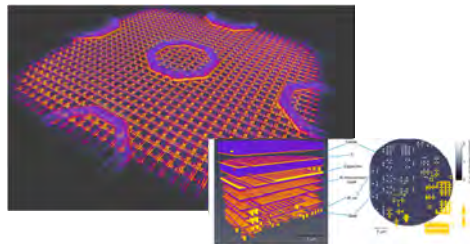
分野を問わない可視化（一部）

電子デバイス



高いコヒーレント性を用いた非破壊の品質管理

デバイス内部のナノの欠陥を見る



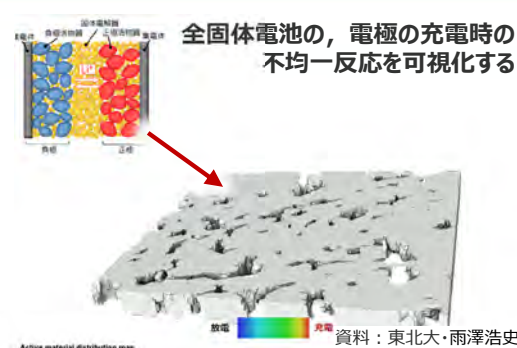
高性能デバイスの実現

デバイスの元素識別イメージング

電池



機能に関わる電子状態の変化をリアルタイムで可視化

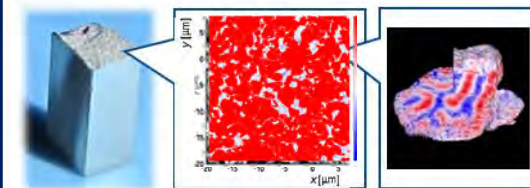


磁気デバイス



電子のスピンが見える
(偏光で磁気分布を可視化)

磁区構造を可視化して
強力な磁石をつくる



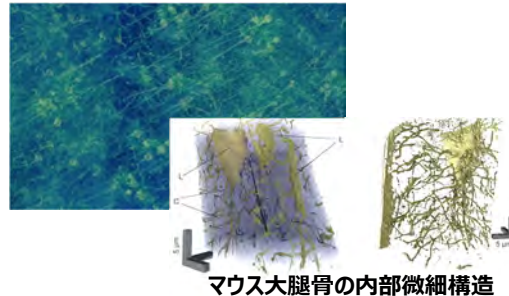
資料：東北大・中村哲也

医療



軽元素からなる組織の可視化
医用材料の生体適合性解明

脳コネクトームの可視化

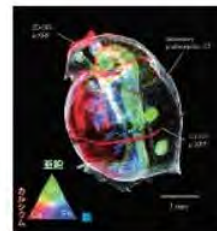


環境



水の水素結合の違いを可視化
軽元素 生体親和性、安全な水供給
リアルタイムで可視化

ミジンコの微量元素を
細胞レベルで可視化



資料提供：R. De Santis et al. Journal of Analytical Atomic Spectrometry.

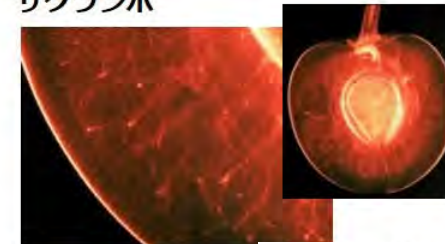
食品・畜産・農・漁業業



軽元素の分布や状態が直接的
かつリアルタイムで可視化

食の安全と高付加価値化の実現

サクランボ



資料：東北大 矢代航

NanoTeras(ナノテラス)とは

<https://youtu.be/QK8e9XGL4OE>

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

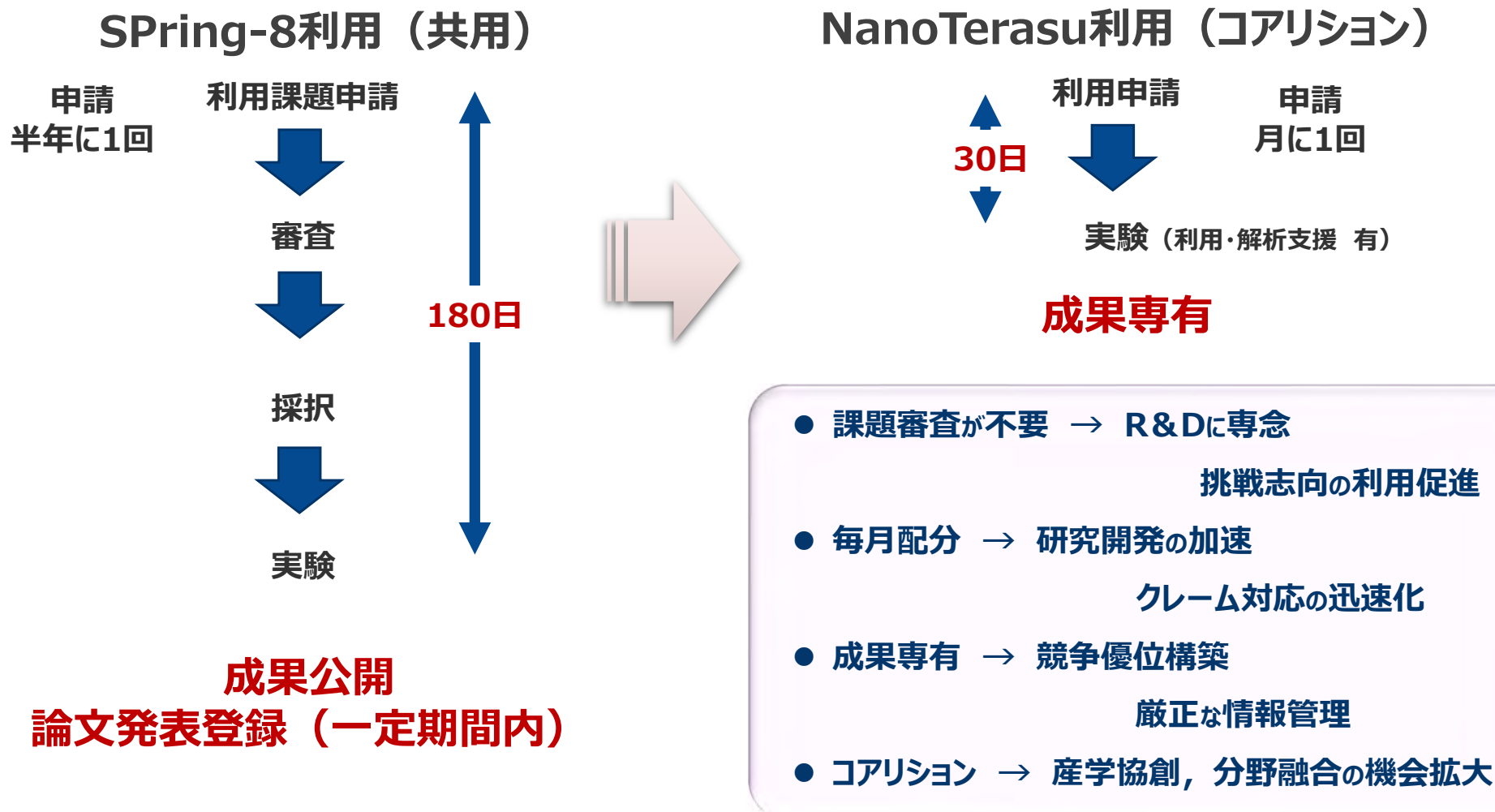
アカデミックパートナー

- 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





GX・DX を加速するイノベーションエコシステムの創造

カーボンニュートラル時代のGXを牽引

革新的電池，省電力半導体，環境負荷を低減する材料，持続可能な農業など多様な研究開発

計測・計算融合のDXによる課題解決

NanoTerasu と 先端計測装置群が生成する膨大な画像データでナノ世界をデジタル化

東北大学青葉山新キャンパス



青木孝文

東北大学 プロボスト

仙台駅から9分

仙台駅

地下鉄青葉山駅

次世代放射光施設
NanoTerasu
2024年本格稼働

国際放射光イノベーション・スマート研究センター
など2棟（計8,000㎡）が2023年完成予定

サイエンスパーク：4万㎡

SINETや民間
ネットを介して
全国へサービス

60ペタバイト級
データストア

マルチモーダル
先端計測装置群
クライオ電子顕微鏡
NMR装置ほか

多様な先端計測装置群から生み出される膨大なデータを統合的に分析，あらゆる現象の見える化とシミュレーションを通して広範な科学・産業現場の課題解決に挑戦

DX時代に向けた参画企業の動き

データ・イノベーションの拠点が市街地へ

仙台エコシステム (NTT)

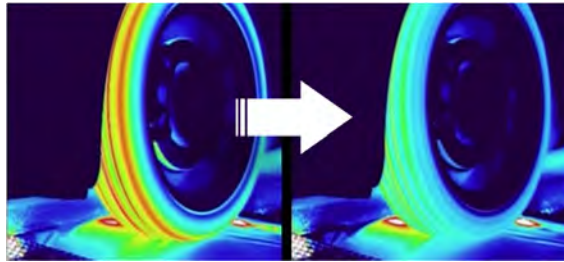
仙台市と「都心部の活性化に関する連携協定」を締結

✓次世代放射光施設と連携し、アーバンネット仙台中央ビルを建設

✓ 放射光施設の活用促進に向けたオープンイノベーション・
解析空間・機能を整備



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

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

試行錯誤・ノウハウ蓄積
による機能探索

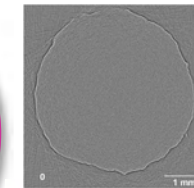
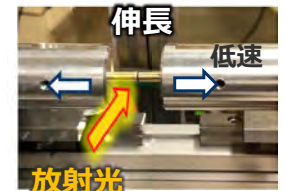
科学・理論



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

タイヤゴムの破壊
(オペランド計測) S社



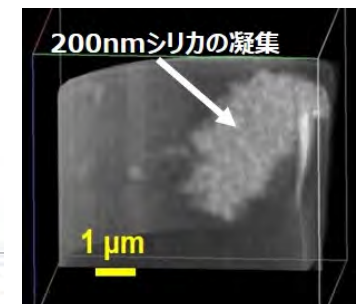
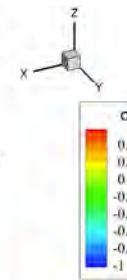
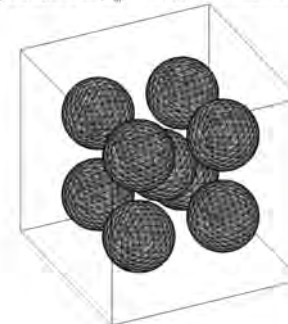
ゴムの破壊を
高速で可視化

発見・理解

モデル化と予測 計算

AIによる分析, モデル化,
そして
シミュレーションによる予測へ

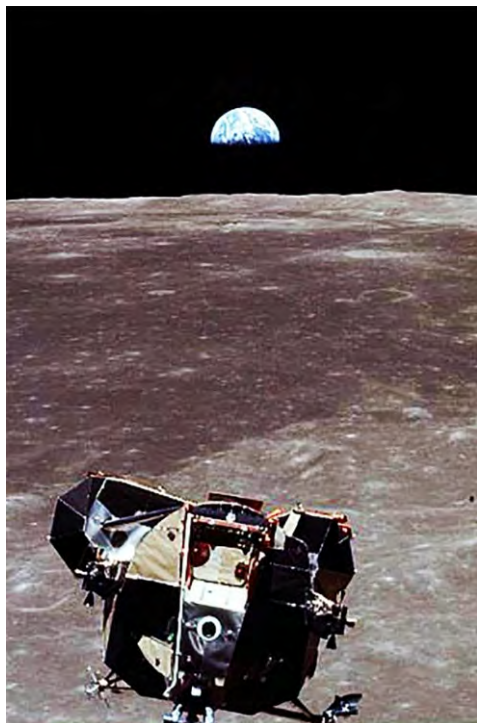
Applied strain = 0%
(Only elements with $|\sigma_m| > 0.25$ MPa are visualized)



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



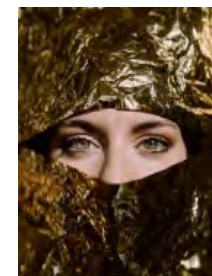
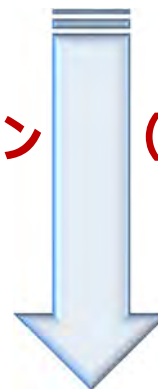
Copyright Rice University

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

Enlighten the Nano Universe to Drive a Sustainable World

ナノの世界を照らし
持続可能な世界を実現する



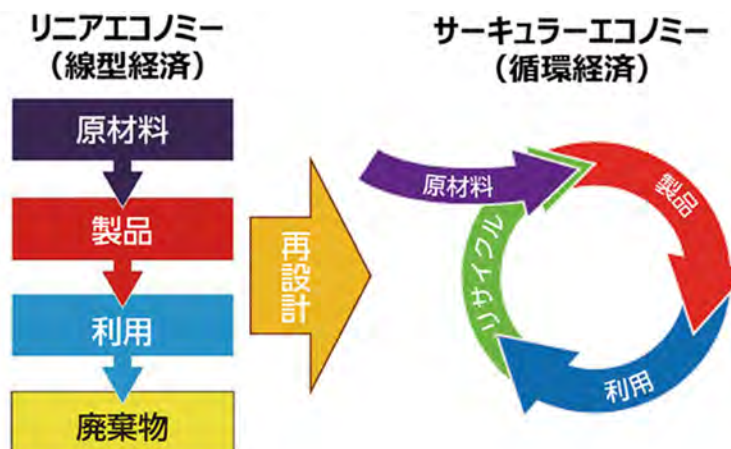
Ellen Macarthur

If we could build an economy
that would use things rather than use them up,
we could build a future.

エレン・マッカーサー財団：サーキュラーエコノミーへの移行を加速させる

三原則

1. Eliminate waste and pollution 廃棄や汚染を取り除く
2. Circulate products and materials at their highest value
製品・原材料を高い価値をたもったまま循環させる
3. Regenerate nature 自然を再生する



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



次期SIP
PD 伊藤耕三

➤ 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

日本の温室効果ガス全体排出量の1.5%低減を目指し

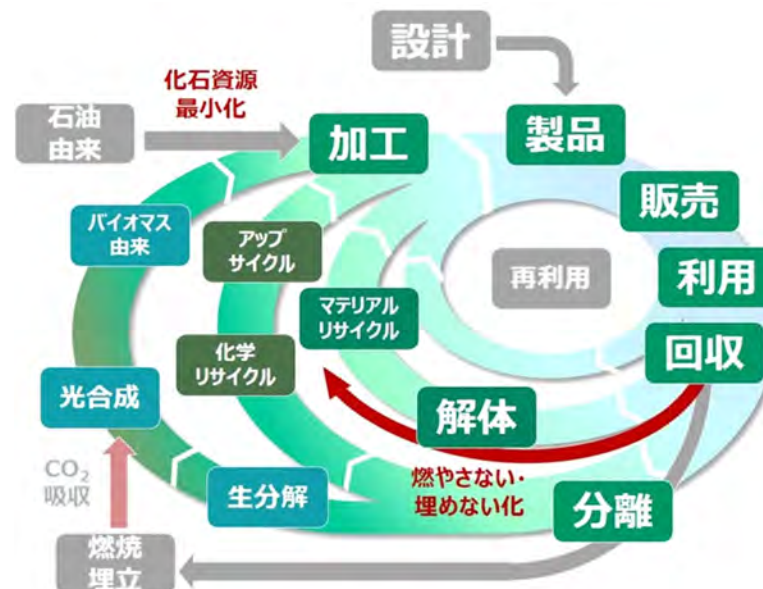
グローバルリーディング企業とアカデミアが連携 燃やさない・埋めないポリマー素材を開発

CO₂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



岡部朋永
東北大
工・機械系



革新技术開発

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。

リサイクル革新技术開発 革新的資源生産性向上技術開発 アップサイクル革新技术開発 革新技术統合製品開発
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

ReMade@ARI : the **Recyclable Materials Development** at **Analytical Research Infrastructures**
funded by EU 13.8M€ 2022 Sept 1-2026 Aug 31

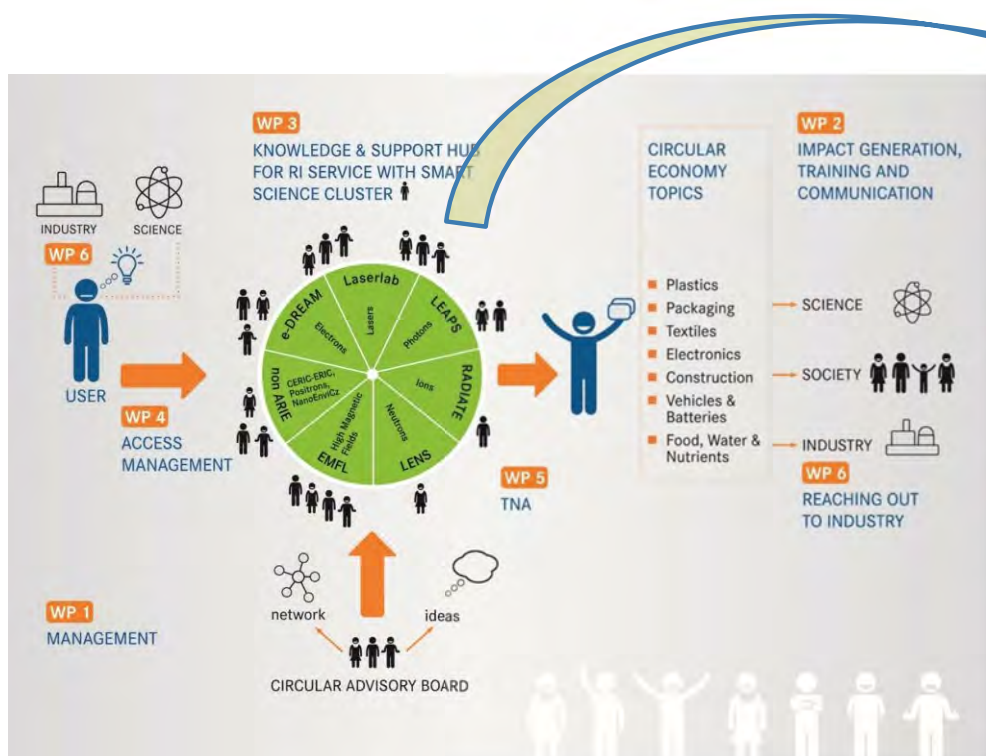


欧州連合(EU)の循環経済行動計画

エレクトロニクス、バッテリー、車両、建設、包装、プラスチック、繊維、食品分野等

主要コンポーネント向けの革新的で持続可能な材料の開発

生産プロセス内で再利用，修理，再製造するための破壊的なメカニズムの解明



EU諸国の 放射光施設が参加

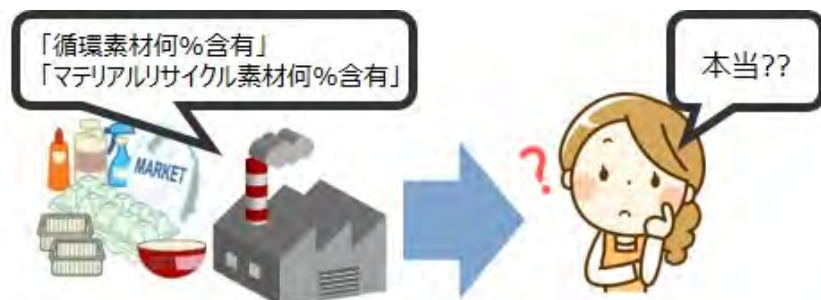
ナノテラスと同じ次世代型
コヒーレンスを用いた**可視化が可能**
ESRF, MAX-IV

その他

3 GeV放射光施設
PSI, SOLEIL, ELETTRA
次世代型へアップグレードを予定

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

- ・ 信頼性を表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フォームがない。
- ・ 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

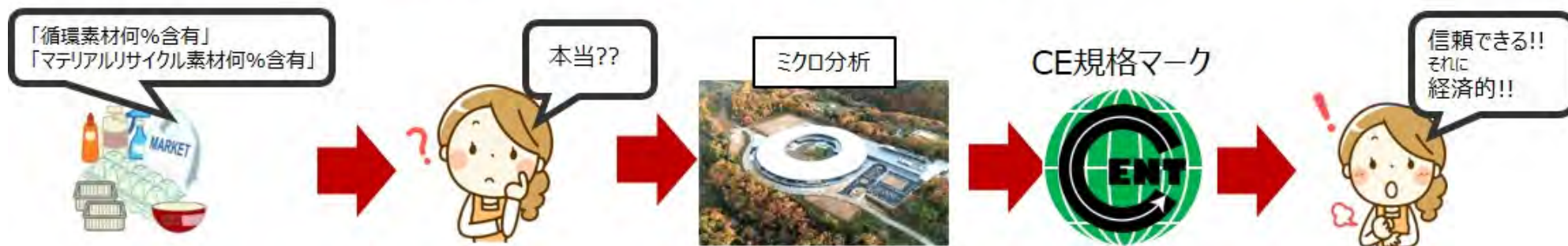
- ・ 用途に適した素材・製品のライフサイクルがわからない。

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 (デジタル プロダクト パスポート)



記者会見における会長発言 東北地方経済懇談会後の共同記者会見 (抜粋)

一般社団法人 日本経済団体連合会 2022年10月18日

<https://www.keidanren.or.jp/speech/kaiken/2022/1018.html>

【ナノテラス】

次世代放射光施設「ナノテラス」は、物質の反応プロセスを可視化できる素晴らしい施設である。世界中から研究者が集い、先端科学技術の拠点となり、起業が増えることも期待される。東北の新しい魅力を体現する場であるが、潜在力はそれにとどまらない。**日本は断固たる決意で科学技術立国を目指している。ナノテラスがその一翼を担うことを期待している。**

NanoTerasu視察参加者

役職	氏名	企業名
会長	十倉 雅和	住友化学会長
審議員会議長	富田 哲郎	東日本旅客鉄道会長
副会長	中村 邦晴	住友商事会長
副会長	平野 信行	三菱UFJ銀行特別顧問
副会長	篠原 弘道	日本電信電話相談役
副会長	安永 竜夫	三井物産会長
副会長	東原 敏昭	日立製作所会長
副会長	小路 明善	アヒグループホールディングス会長
副会長	永野 毅	東京海上ホールディングス会長
副会長	遠藤 信博	日本電気特別顧問
副会長	永井 浩二	野村ホールディングス会長
副会長・事務総長	久保田政一	



終わりに

世界最先端の施設が青葉山に完成間近です。
大学やスタートアップ、大型施設を巻き込んだ水平分業型の
オープンイノベーションが実現しようとしています。
是非、視察にお越し下さい。お待ちしております。



ご清聴ありがとうございました

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
<https://www.phosic.or.jp/>

〒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

担当：加納 雅明： m-kano@phosic.or.jp
TEL/FAX: **022 - 752 - 2210**
E-mail: info@phosic.or.jp