

東北リング(STIR)の利活用について

地元(東北)企業等を含む、産業
応用に関する具体的な連携施
策対策

放射光利用バンク

放射光利用バンク(仮称)の整備

例えば、東北地区にある7つの国立大学、公設研究所・センター等の研究者が、放射光利用に関する自らの得意分野を登録・連携して支援する



放射光利用に関するナノアプリケーションのルーチン化等を建設当初から積極的に導入する



企業が抱える種々の課題について、最先端の解析ツールである放射光利用を容易にすることによって、根本的な課題解決を図り、結果的に産業におけるイノベーションを強力に促進させる

サンプル

産業利用の支援システム：小角・広角X線散乱測定

～ナノからミクロンに至るソフトマテリアルの階層構造の解明～

企業からの試料持込み

高分子材料、ソフトマテリアル、生体材料

放射光利用バンク相談窓口

該当する測定法の専門研究者とのマッチング

例えば、小角・広角X線散乱測定の担当者との相談により適切な研究者を紹介

- ❖ in-situ 小角・広角X線散乱：高分子結晶からラメラ構造、相分離構造成長プロセスの評価
山形大学工学部：松葉研究室、専門：高分子材料の精密解析・その場解析
- ❖ 精密小角・広角X線散乱：ソフトマテリアルの構造、ゲル・ウェットマシンの構造解析
山形大学工学部：古川研究室、専門：ソフトマテリアル材料の精密解析・新規材料開発
- ❖ 反射率測定・GI測定：ソフトマテリアル界面、表面の分析、反射率による超薄膜の解析
山形大学工学部：熊木・西辻研究室、専門：超薄膜材料の表面分析

企業の測定実験およびデータ解析をサポート

→ 企業は実験結果を持ち帰り、製品開発などに活用

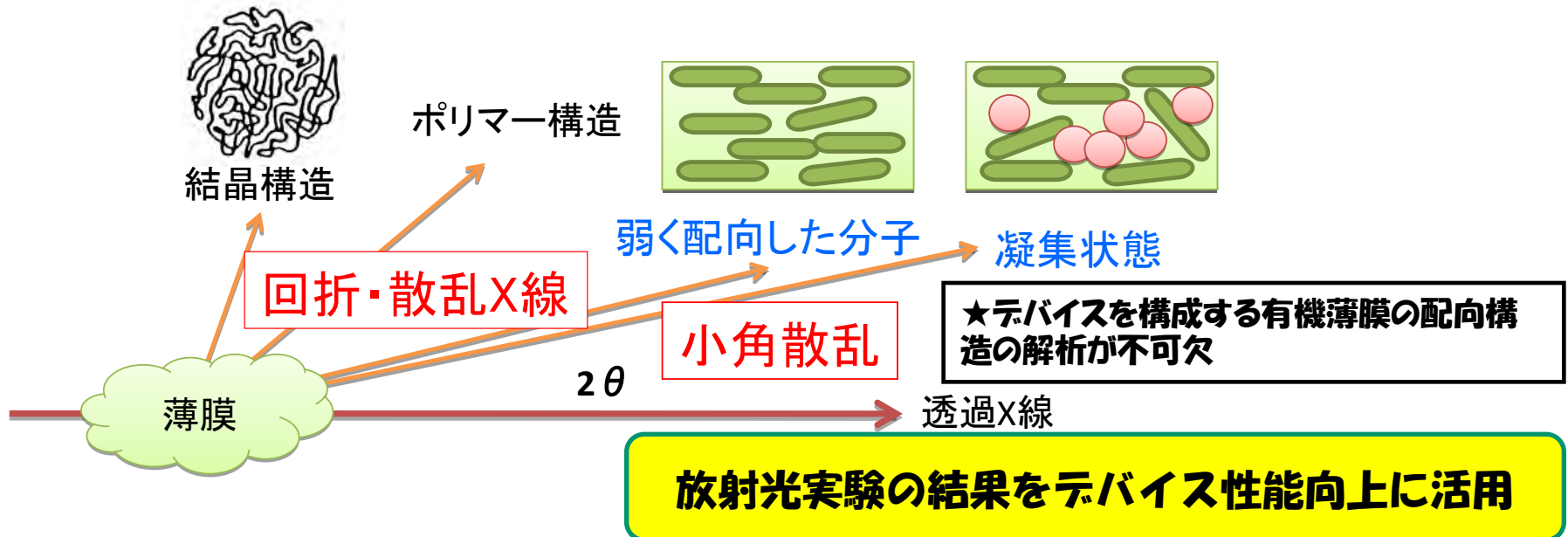
有機エレクトロニクス分野(有機EL/太陽電池/メモリー/Liイオンバッテリーに)における高輝度放射光の利用 (LUMIOTEC、東北パイオニア、パナソニック、NECライティングDNP 等)

産業界の要望：デバイス性能を向上させるために、膜質を把握・定量化したい。そのために、放射光X線を用いて、原子レベルの配列規則性から粒子の凝集状態まで、さまざまなサイズの視点で材料状態を明らかにする。

★放射光利用バンク：調査対象とするサイズによって使用するX線の波長や測定法が異なるので、状態を調べるのに効果的な手法を提案する。

★研究協力：

山形大学有機エレクトロニクス研究センター、有機エレクトロニクスイノベーションセンター



次世代磁気・光デバイス創成のためのナノ計測

(昭和電工、日東光器)

産業の要望：秋田県・東北地方には先端磁性材料研究の伝統があり、超高密度磁気記録媒体や磁気ヘッドをはじめとする磁性材料開発が行われてきた。次世代磁気デバイス開発や光学素子の開発によって秋田・東北地域の経済を活性化したい。

★**放射光利用バンク**：先端磁性材料開発や光学素子開発には、ナノ領域の構造解析や磁気特性評価が必要不可欠である。放射光利用バンクからナノ領域磁気物性評価技術をアドバイスする。

★研究協力：

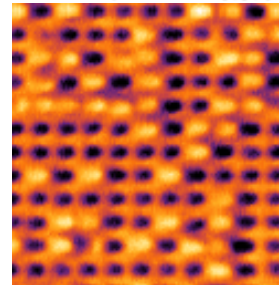
秋田大学石尾研究室

(ナノ磁性材料デザイン、精密磁気計測)

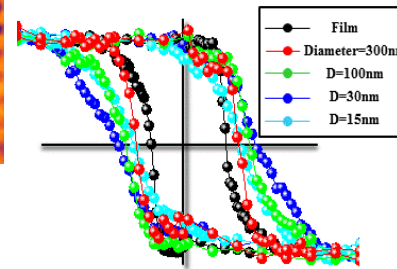
秋田県産業技術センター

(ナノ微細加工、薄膜作製)

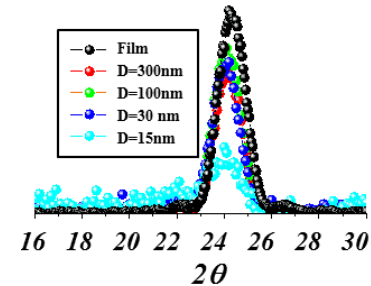
FePt パターン磁気像



微小領域XMCD測定
(磁気特性評価)



微小領域XRD
構造解析



実験：X線ナノビームによる構造解析による直径10nmのFePt粒子のL₁₀規則構造の観察、0.8Gdot/inch²のドットパターンの磁化特性を10Tの磁場で測定

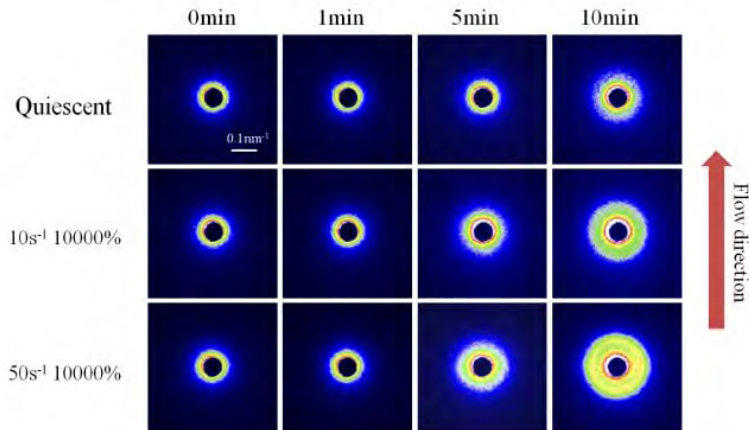
研究進展：L₁₀FePtを用いたビット・パターン媒体の設計指針が明らかになった。

流動場におけるポリ乳酸コンプレックスの構造形成機構の解明 (帝人(株))

産業界の要望：カーボンニュートラルとして環境に優しい材料として用いられるポリ乳酸の強度、性能をさらに上昇させて用途増大をはかる。

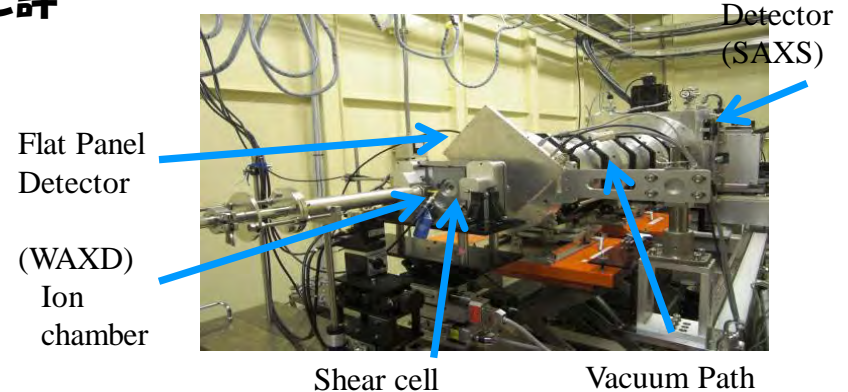
★放射光利用バンク：放射光を利用して、せん断流動時における時分割測定の方法および結晶構造解析について評価した。

★研究協力：山形大学理工学研究科
機能高分子工学専攻 松葉研究室
(その場小角・広角X線散乱法)



強いせん断の印加によってケバブ構造が出現

★高強度・高輝度のX線を用いた結晶成長プロセスの観察は不可欠



Shear Cellをおいた実験(BL40B2 at SPring-8)

実験：放射光実験の結果、せん断によって配向構造が出現すること、結晶核生成促進効果が見られることがわかった。

研究進展：放射光実験で得られた結果からさらに高機能な材料開発に活用。

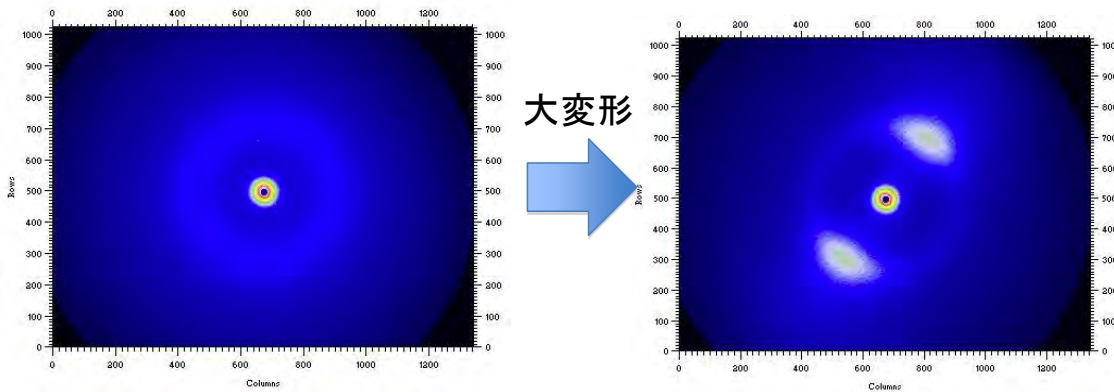
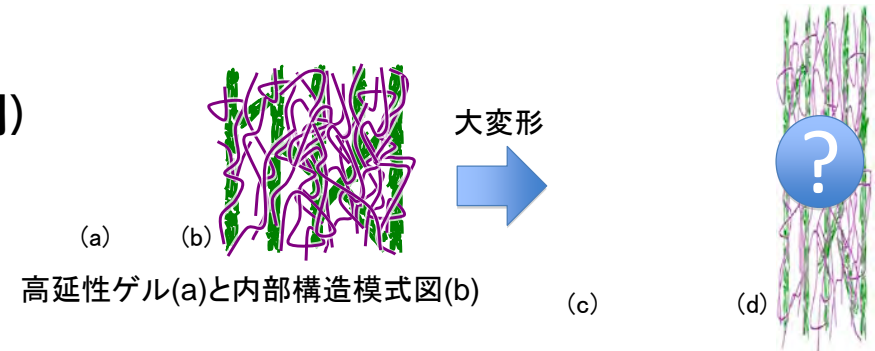
放射光を使ったゲル研究 (三菱レイヨン、昭和電工など)

産業界の要望：ゴムに匹敵する高強度ゲルが誕生し、新しいものづくりへの展開が待望されている

★放射光利用バンク：高次構造ゲルの構造変化の短時間リアルタイム観測が有効照り、放射光利用バンクからの解析アドバイス

★研究協力：
山形大学古川英光研究室(短時間リアルタイム計測)

★構造変化をリアルタイムで知ることが非常に有効



Spring-8 観測例

実験：放射光実験の結果、ゴムに匹敵する高強度ゲルが誕生し、新しいものづくりへの展開が待望されている。

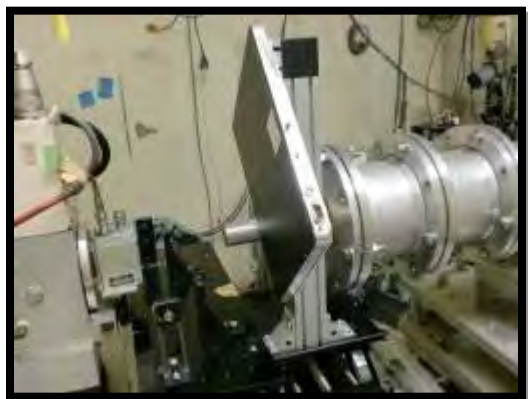
より高性能な「感温性」粘着剤の開発を目指して (ニッタ(株))

産業界の要望：温度により粘着性能が変わる粘着剤の精密構造制御。特に低温にした際の剥離性の向上

★放射光利用バンク：

放射光を利用して、オンGSTロームからナノスケールの構造をX線散乱を用いることによる、構造変化の観察、解析についてアドバイス

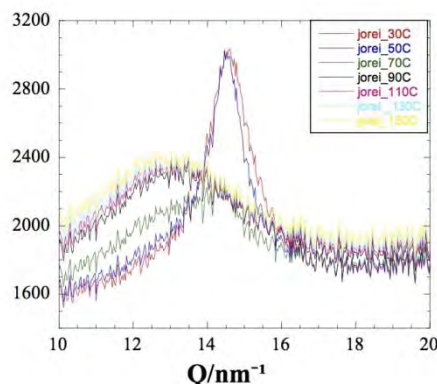
★研究協力：山形大学理工学研究科 機能高分子工学専攻 松葉研究室（その場X線散乱法）



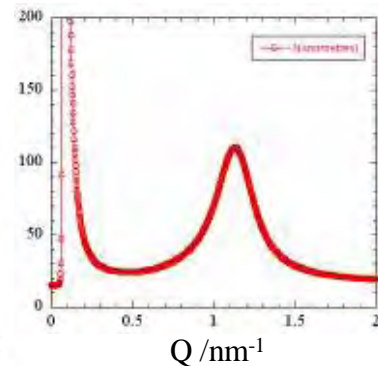
広角X線カメラ(PF-BL15A)

★広角X線回折で観測される結晶構造と小角X線散乱で観測される相分離の制御が重要

広角X線回折



小角X線散乱



実験：放射光実験の結果、粘着剤としての性能は結晶だけではなく、5 nm程度の相分離構造が機能に影響を及ぼしていることを示した。

研究進展：放射光実験で得られた結果からさらに高性能な粘着剤製品開発に活用。

東北地方に産する天然ゼオライトを利用する産業排水中の有価金属資源の回収

(新東北化学工業、太平洋金属)



産業界の要望: 東北グリーンタフ地域の天然ゼオライトは、モルテナイト沸石と斜方チロル沸石が主成分。産出層準によって含有量が異なるので、合理的な利用法を知りたい。

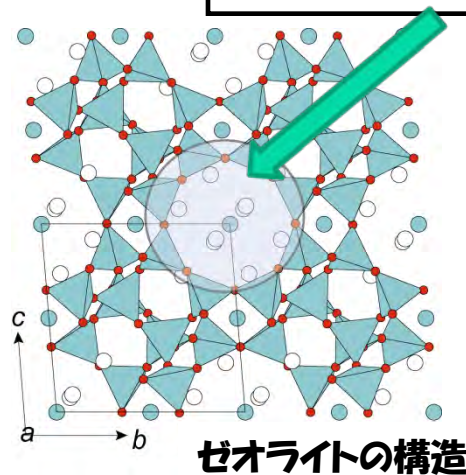
★放射光利用バンク:

それぞれのゼオライトが回収できる金属元素の種類を解明する必要がある。目的元素の環境構造解析が可能な、XAFS法とXRD法のドッキングが最適。

★研究協力サポートの依頼:

東北大学杉山研究室(天然鉱物の知見 + XRD法)
山形大学臼杵研究室(XAFS法)

★ゼオライト細孔内の有価金属の分布状態の決定が不可欠



放射光実験結果: セシウムの回収にはモルテナイト沸石が有利と判明。企業は、結果を持ち帰り製品開発に応用。さらに、Ag, Cuなどの有価金属の回収に効果的な天然ゼオライトの探索に着手

研究進展: より効率的に有価金属元素の回収を可能にする新たなゼオライト素材の開発への展開

東北地方レアメタル資源の開発 (同和鉱業、小坂精練)

産業界の要望: 東北地域の黒鉱地域では、局所的に希土類資源鉱物が発見されている。これまで着目されていなかった、このレアメタル資源を開発したい。

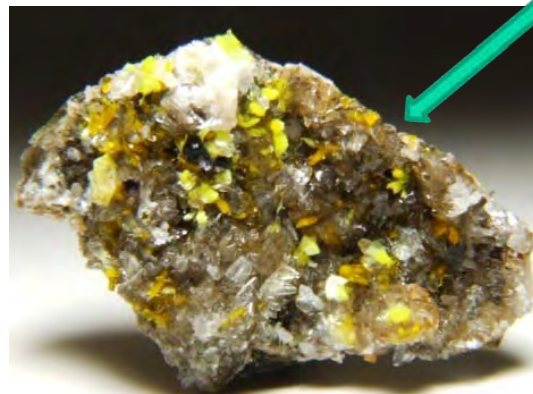
★放射光利用バンク:

微量な金属元が硫化物として存在するのか酸化物として存在するのかを決定するため状態分析を実施する必要がある。ppmレベルの状態分析が可能な放射光XAFS法およびXRF法の利用をアドバイス。

★研究協力サポートの依頼:

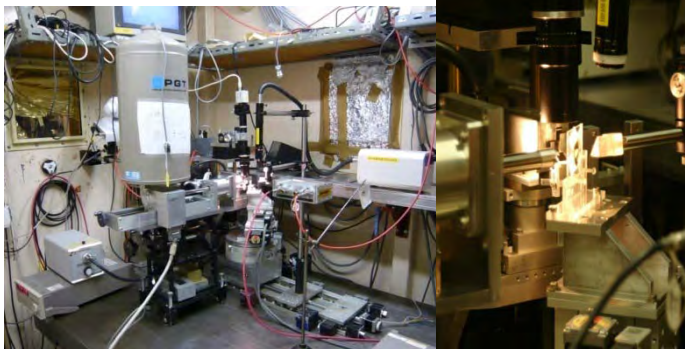
東北大学篠田研究室(マイクロXAFS法+XRF法)

★鉱物に含有される有価金属の状態分析がキーポイント



放射光実験結果: 希土類元素は、硫酸バリウムに濃集していることが判明。企業は、結果を持ち帰り、新しい素材精製プロセスの開発に応用

研究進展: 放射光実験で得られた微量分析の結果に基づき、環境保全のため黒鉱鉱石に含まれるヒ素およびアンチモンの回収法を産学連携事業として開始



放射光を用いたmicro-XAFS実験

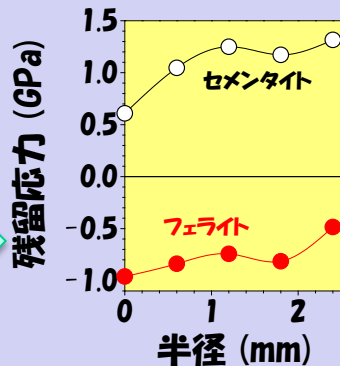
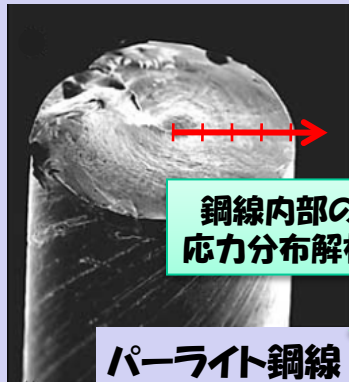
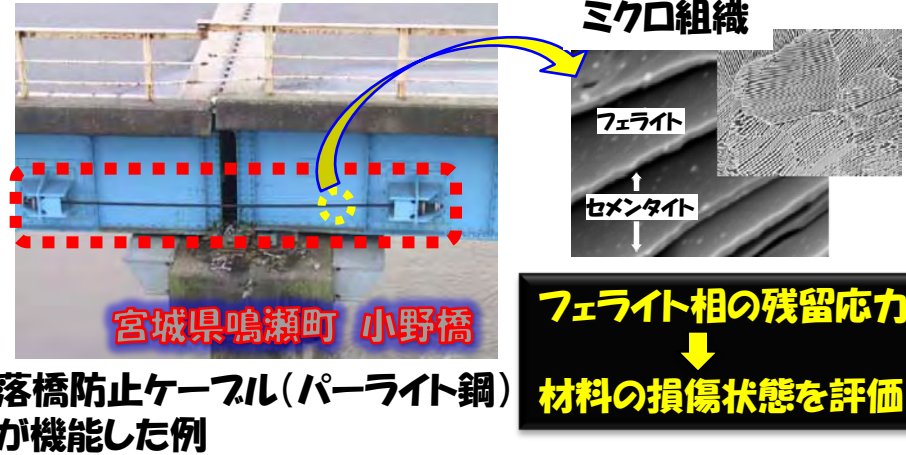
地震によるインフラ構造へのストレスと寿命予測、その材料開発 (東北鉄骨橋梁(株)、JFE条鋼、新日鉄住金)

産業界の要望: 地震により橋梁の被害が発生し、その後の頻発する地震で橋梁材へのストレスが加わり続けている。その状況確認と、それに対応する材料開発を目指したい。

★放射光利用バンク: 橋梁の鉄鋼部材の残留応力とその応力形成過程を解析することを提案。

★分析法: マイクロビームX線回折法

★サポート体制: 東北大学鈴木研究室
(X線残留応力解析法)



マイクロビームX線回折による鋼線内部の
残留応力分布解析

放射光実験の結果:

- ・鋼線外周部では残留応力の低下傾向を確認
- ・フェライト相の圧縮応力は、セメントライト相の引張応力による相応力が働く新材料開発に着手

研究進展:

- ・パーライト鋼線の損傷解析法の開発
- ・フェライト-セメントライトの相応力制御による新しい鉄鋼材料開発への展開

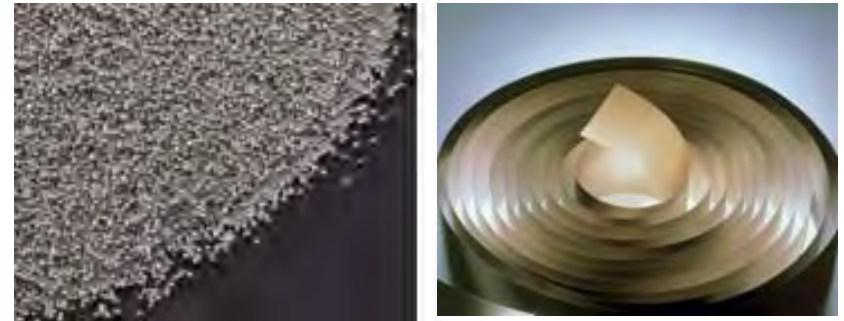
Fe系ヘテロアモルファス素材の軟磁気特性

(弘前航空電子、八戸ハイテック)

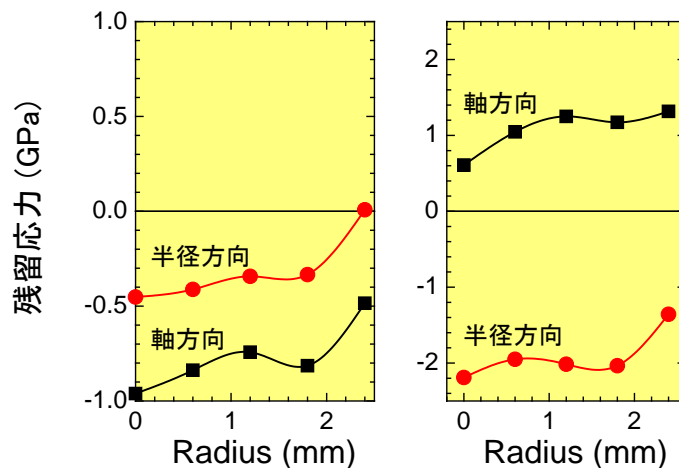
産業界の提案: 素材製造プロセスと軟磁気特性との相関が大きく、安定した素材を製造供給することに課題がある。解決したい。

★放射光利用バンク: 製造プロセスが異なると、得られた十ノ結晶のサイズに加えてマトリックスとの界面構造が変化すると想定し、平行ビーム光学系を利用する小角散乱法と広角X線回折法の解析の利用をアドバイス。

★研究協力: 析出物の歪解析を専門とする東北大学佐藤研へ解析サポートの依頼。



製造方法が異なるFe系ヘテロアモルファス素材



Fe系素材中に存在する十ノ結晶相に残留する応力

実験: ヘテロアモルファス素材の特性は、マトリックスと析出相との界面構造に起因する残留応力がキーポイントであることを解明。同時に、最適な、残留応力を得るために、十ノ結晶に分散する添加元素の最適化が不可欠であることを指摘。

研究親展: 企業は、よにより製品開発のため、添加元素の最適化の探索を開始した。

産業応用について

予備調査 官学 460件 産業界 280件

東北地区のみで試算：産業界280件の1/3(93件)の利用でも、官学の
総数460件に対する割合は 20%を超える

各大学で広範なテーマで幾つもの連携プロジェクトが展開されている

例1 高密度磁気記録媒体のナノレベル構造評価・磁気特性の解析
東北大学、秋田大学、弘前大学、NECトーキン、TDK、アルプス電気、本田精機

例2 レアメタル等の高純度化・省資源・リサイクルプロセスの確立
東北大学、秋田大学、岩手大学、DOWA、秋田製錬、フルヤ金属、太平洋金属

例3 構造材料部材の局部残留応力精密解析・材料寿命評価
東北大学、岩手大学、東北特殊鋼、JFE条鋼、東北電力、新日鉄釜石、高周波鋳造

例4 新しい医薬品開発を加速するタンパク質構造の動的解明
東北大学、山形大学、弘前大学、秋田大学、医薬品企業

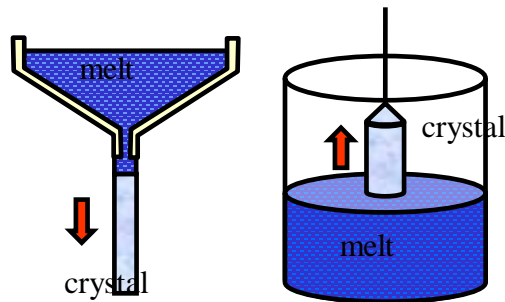
例5 低炭素・超ハイブリッド材料等の開発に係る基盤技術研究
東北大学、山形大学、福島大学、ユアテック、東北東ソー化学、東北化学薬品

Bulk Crystals : 未来を担う高機能結晶製造

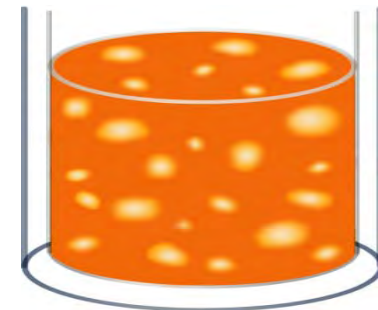
Fluoride, Oxide
SiC, GaN, Si, ZnO

医療・工業・高エネルギー物理学を支える蛍光体シンチレータ
エネルギー問題を解決する半導体

結晶育成



結晶育成方法の例 (μ PD法, CZ法)

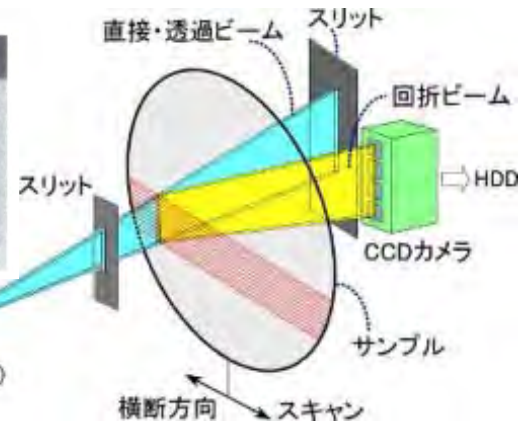


液体の構造不均一性の制御が重要！！
結晶成長過程のX線その場観察が必要
マイクロ・メゾスケール: XRD, XAFS, SAXS

単結晶評価



Bulk Single Crystal (CaF)



新産業創成

結晶性: X線トポグラフィ
微量元素周りの局所構造: XAFS

High Tech. Crystals : 輝く未来

安全性の高い医療診断技術、省エネパワーデバイス

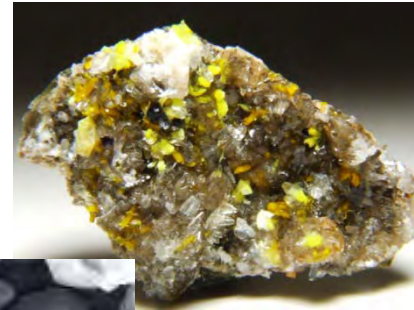
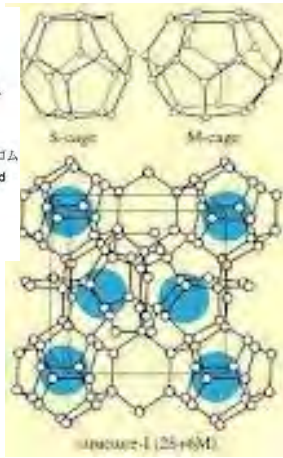
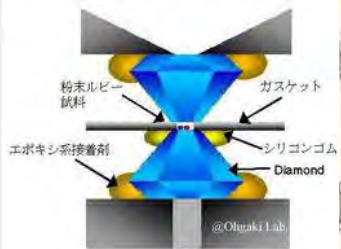
Natural Resource : 東北資源戦略

Rear Metals. Aruban Mine 微量希少資源を探せ(天然鉍山資源、都市鉍山、資源回収)

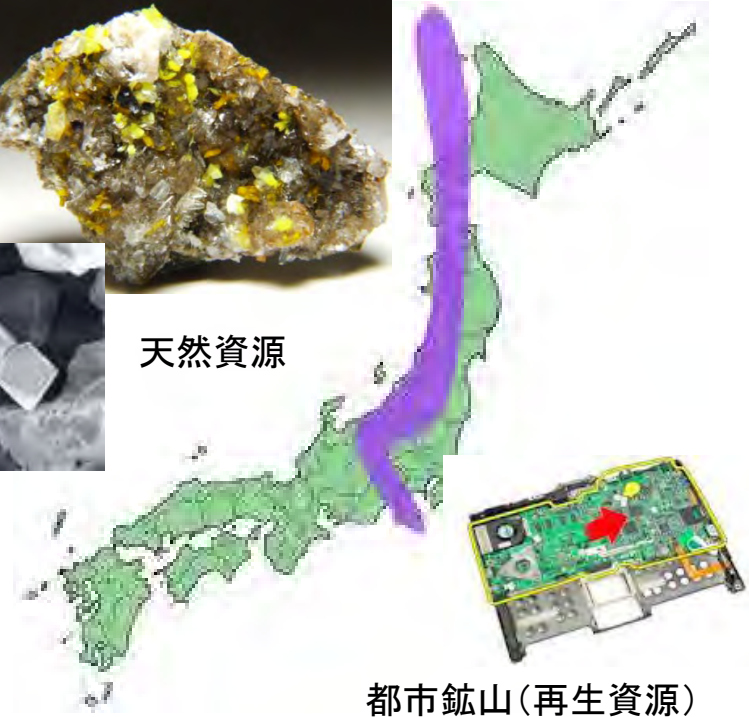
New Energy Resource 新エネルギー資源の開拓(ガスハイドレート、地熱資源)

New Functional Resource 新しい機能を持つ天然資源(粘土、ゼオライト)

New Resource : 持続する未来社会



天然資源



都市鉍山(再生資源)

ガスハイドレートの形成と資源化

生成メカニズム? + 安定領域?

High Pressure insitu XRD

微量元素分析技術

希少資源の回収プロセスを支える元素分析
資源処理プロセスを可能とする環境の保全技術

機能特性をもつ天然資源鉍物から学ぶ材料開発

東北地方グリーンタフ地域のゼオライトおよび粘土

新エネルギー資源の開拓

ガスハイドレートの生成メカニズムと資源化
熱水腐食に耐える材料開発

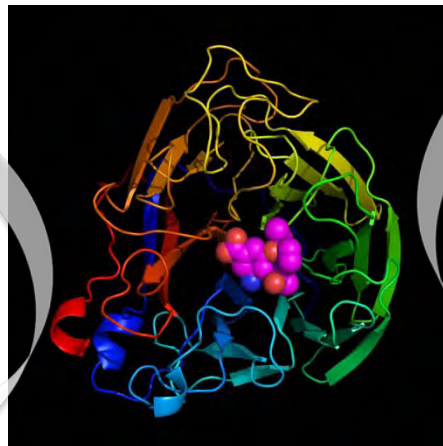
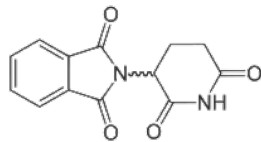
東北地方グリーンタフ地域

黒鉍鉍床(金属資源)、ゼオライト鉍山、希少金属
有用元素資源の存在形態の特定が重要!!

ミクروسケール: XRD, XAFS

(1)新しい医薬品開発を加速するタンパク質構造の動的理解

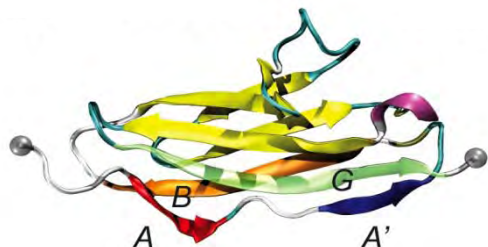
サリドマイド



放射光を使った構造
解明による新薬開発



(2)生命活動の根幹となるタンパク質の機能発現ダイナミクス の 解明



力



新しい機能の出現 !!



時々刻々変わる組織環境(例えば、筋肉の収縮)

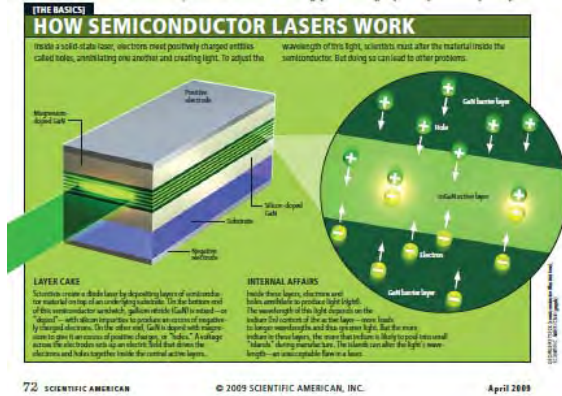
筋肉分子のダイナミックな変形を放射光が解き明かす



共同研究体制; 東北大学(加齢研、多元研、医学系研究科)

InGaN 等のLED物質の局所構造と発光効率

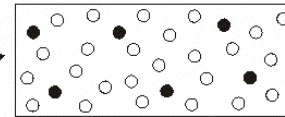
(弘前大学、東北大、岩手大、アイリスオーヤマ、旭化成等の企業)



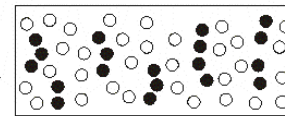
偏光XAFSによる局所構造解析

→ 3nmという量子井戸内のIn原子の局在度がわかる

Top view



Side view



- In
- Ga

C軸方向にIn原子が局在している



InGaN SQW

In原子の局在度が発光効率と関係が見つかる

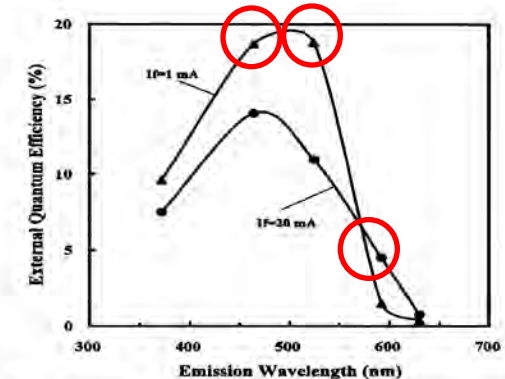
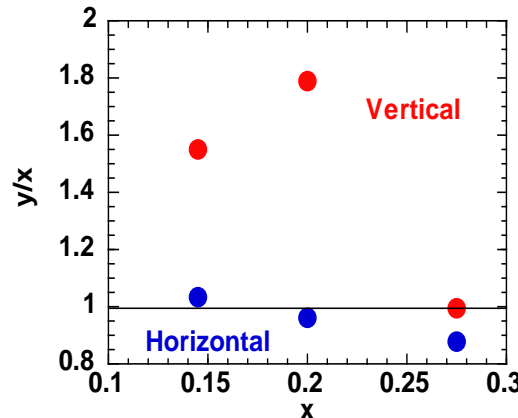
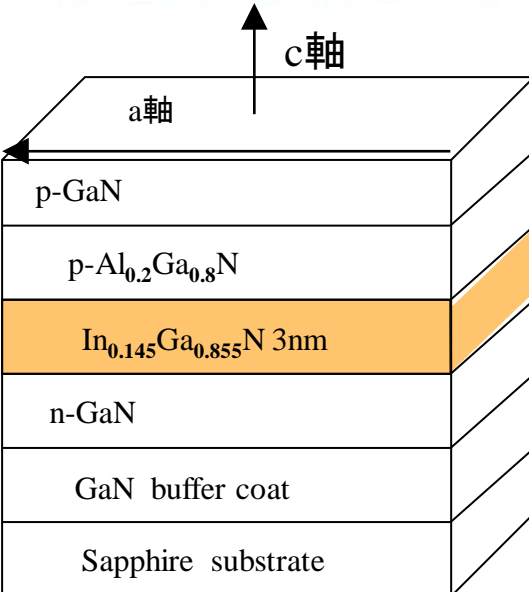


Fig. 7. External quantum efficiency as a function of the emission wavelength of InGaN-based UV, blue, green, amber and red LEDs.



c-InGaN SQW

有機薄膜形成の素過程の解明

有機半導体デバイス

有機半導体材料の応用用途

- ・有機EL発光素子（ディスプレイ、照明）
- ・有機トランジスタ（ICタグ用、ディスプレイ駆動用TFT、メモリー、センサー）
- ・有機薄膜太陽電池

特徴

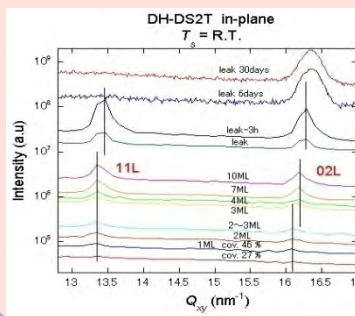
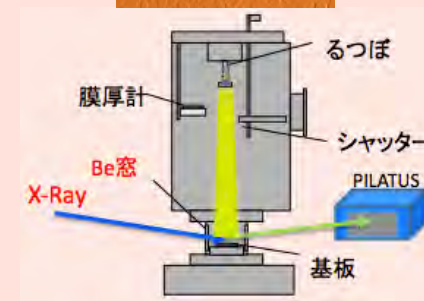
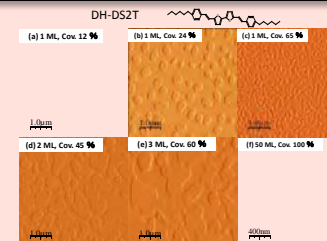
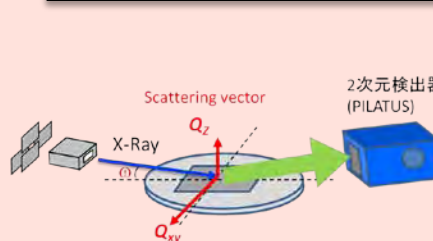
- ・フレキシブル（曲げられる）、柔らかい、軽い
- ・印刷で作製する電子素子、大面積、低価格、低温プロセス、環境低負荷
- ・自己組織化、生物模倣、分子素子（高集積化）へ

有機電子デバイスの特性向上のために

- ・界面の問題（電極／有機半導体、絶縁層／有機半導体、p/n界面）
- ・有機半導体層の結晶性の向上
 - 多形制御（単相化）
 - 配向制御（膜厚方向）
 - 面内配向の制御（単結晶化）

薄膜形成初期過程の解明が重要！

放射光X線を使ったリアルタイム構造評価

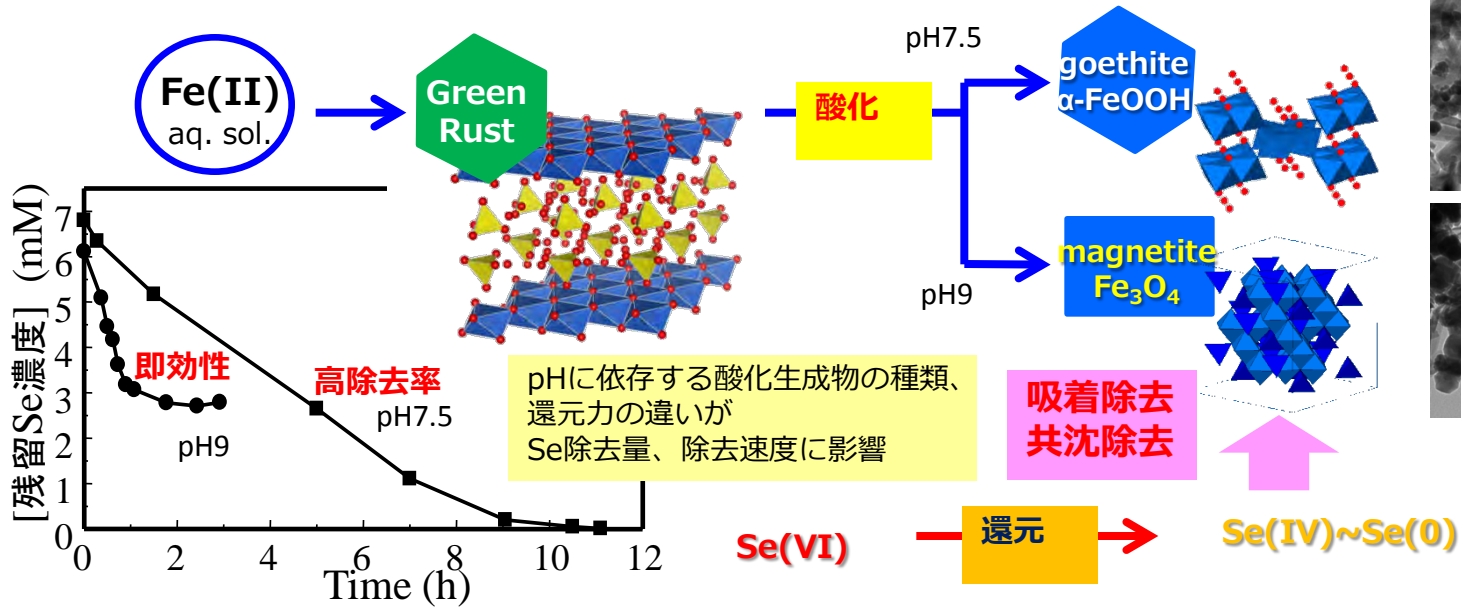


共同研究体制

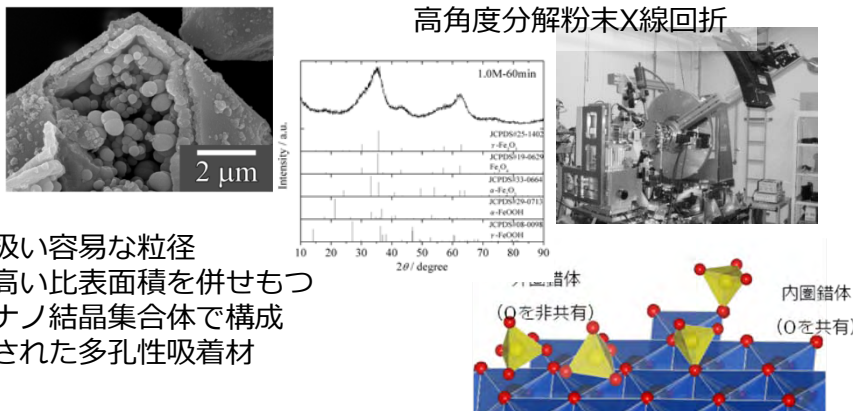
岩手大学、岩手県工業技術センター、東北大学、山形大学、東北圏内電子材料、エレクトロニクス関連企業など

水環境浄化プロセス開発への応用

水溶液中Fe酸化反応プロセスによる溶存有害化学種固定・除去



原料粒子の溶解・再析出プロセスによる多孔性吸着材創製



X線吸収分光による
反応後Seの化学状態分析

吸着材粒子表面における
有害化学種の吸着形態分析

東北大学、秋田大学、岩手大学、宮城教育大
三菱マテリアル (株)、DOWAメタルマイン (株)、SOWAエコシステム (株)、(株)フジタなど

まとめ

東北リング(STIR)は、世界最高水準の「放射光ナノアプリケーション」を提供
「放射光利用バンク」の仕組みが、「放射光ナノアプリケーション」の産業応用を
組織的・戦略的に後押し

その結果：

東北地域の食糧資源の戦略的新展開のみでなく、東北地域の産業ポテンシャルが最大限に引き出される → 広範なイノベーションが着実に推進されて、例えば高付加価値製品をもたらす「ものづくり産業」=**新サステイナブル産業の創成によるグリーンイノベーションが実現する** → 我が国のものづくりの国際優位性の維持・発展に大いに貢献できる

東北リング(STIR)は、5年後の震災復旧完了を見据えた、地域振興の根本的な施策としても有効に機能する → **東日本大震災復興のシンボルにも！**

経済波及効果：直接の建設費約300億円のみでなく、年間約3,500人の利用施設なので、関連する雇用機会の増加等も、大いに期待できる