

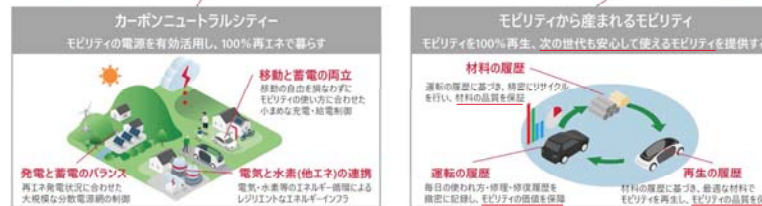
エネルギー循環型社会実現に貢献する 放射光利用

2023年4月20日
○小野泰輔, 清水皇, 白桃拓哉
株式会社デンソー



持続可能なモビリティ社会に向けた取り組み

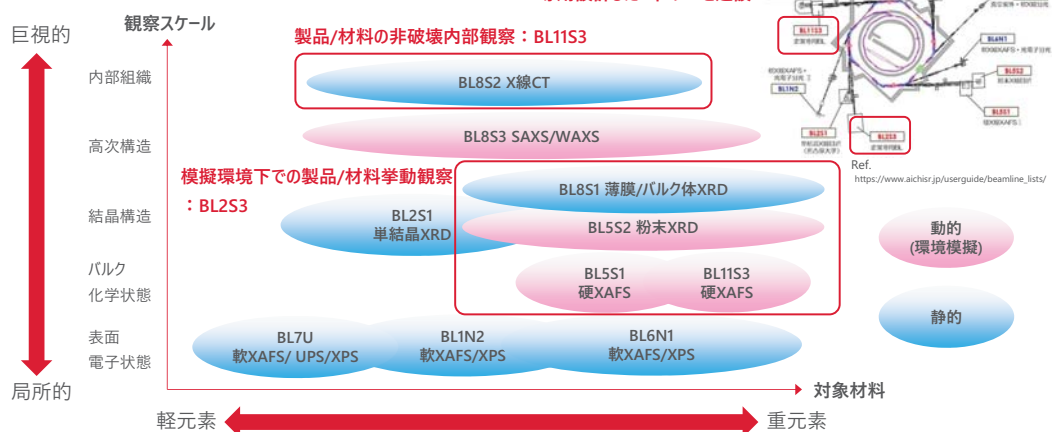
5つの流れのつながりで得られる価値



モビリティの循環を、社会の循環に広げ、人々の笑顔があふれる幸福循環社会をつくっていく

デンソーにおける放射光活用(あいちSR)

高頻度な社内ニーズに対して
専用設計した2本のBLを建設



材料/製品に応じて共用BLを利用、社内ニーズが高い手法を専用BLに実装/活用

デンソー専用ビームライン(BL2S3)

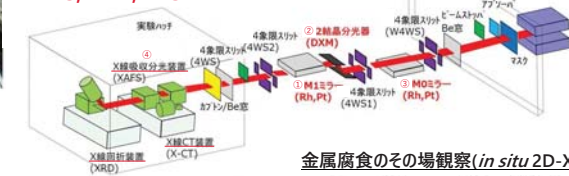
<実験ステーション外観>



雰囲気制御 × 外場制御
= 模擬環境

<BL機器構成>

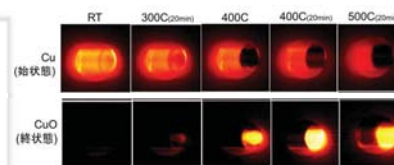
3つの分析手法
XAFS, XRD, X-CT



様々な分析ニーズに応えるビームライン設計

- ①集光点が異なるダブルM1ミラー: シリアルにXAFS/XRD実験可能
- ②2結晶分光器スルー可能な仕様: 白色X線CT実験可能
- ③ダブルコーティングミラー(Pt/Rh): 測定可能元素(Ti~Rh-K端, Ce~Bi-L端)
- ④環境模擬・複数手法の同時計測: in situ 2D-XAFS実験等可能

金属腐食のその場観察(in situ 2D-XAFS)



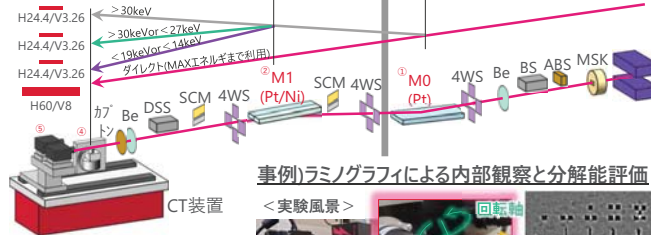
環境模擬×複数分析手法により多角分析可能なビームライン

デンソー専用ビームライン(BL11S3)

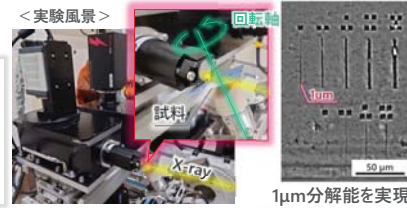
<実験ステーション外観>



<BL機器構成>



事例① ラミノグラフィによる内部観察と分解能評価

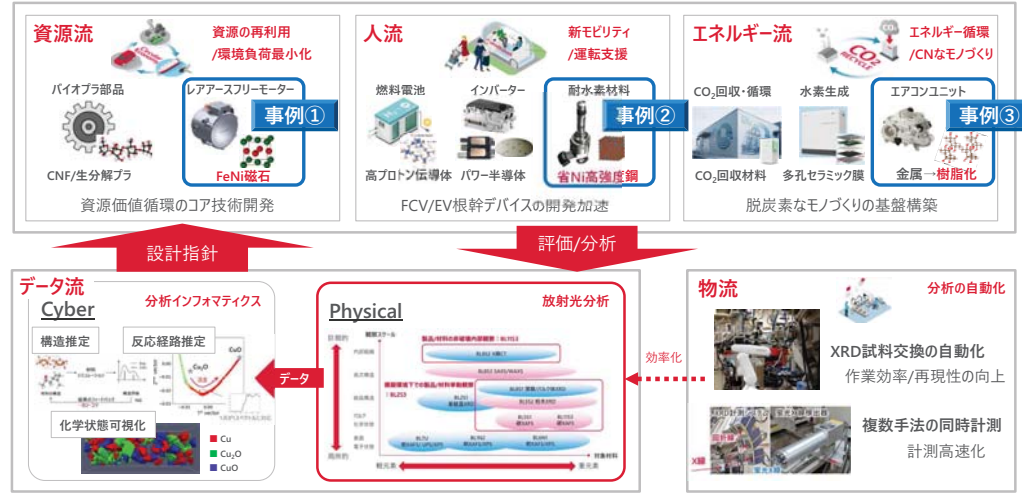


可視化ニーズに応えるイメージング専用ビームライン

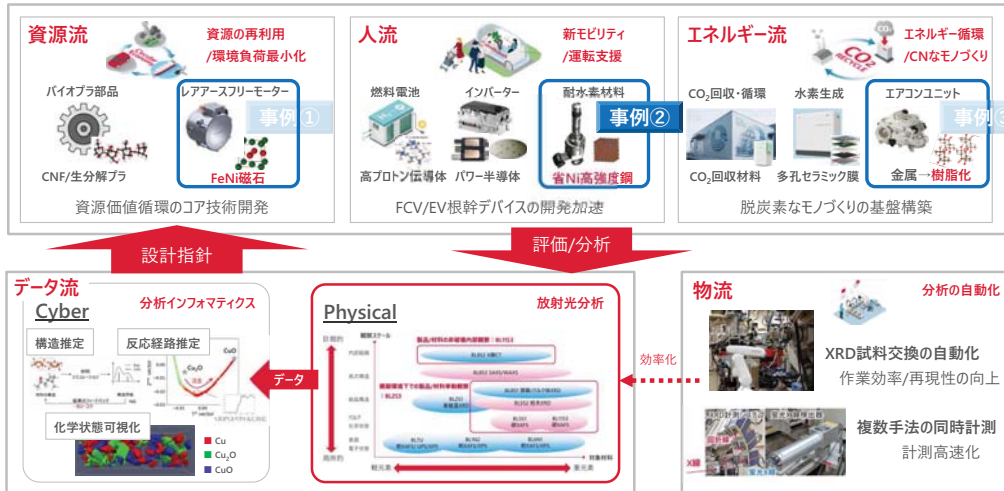
- ① M0 長尺凹面ミラー : 高輝度/高平行性を実現
- ② M1 長尺Pt/Ni-Wコートミラー : 対象材質に合わせたエネルギーカット
- ③ ダイレクト白色X線 : 大型試料に対する高エネ/広視野測定
- ④ CT/ラミノグラフィ切替機構 : 試料形態に適した撮像方法切替
- ⑤ タンデム型W検出器 : 高速/簡便に観察倍率変更

製品をありのまま/3D的に視覚化 直感に訴えるイメージングビームライン

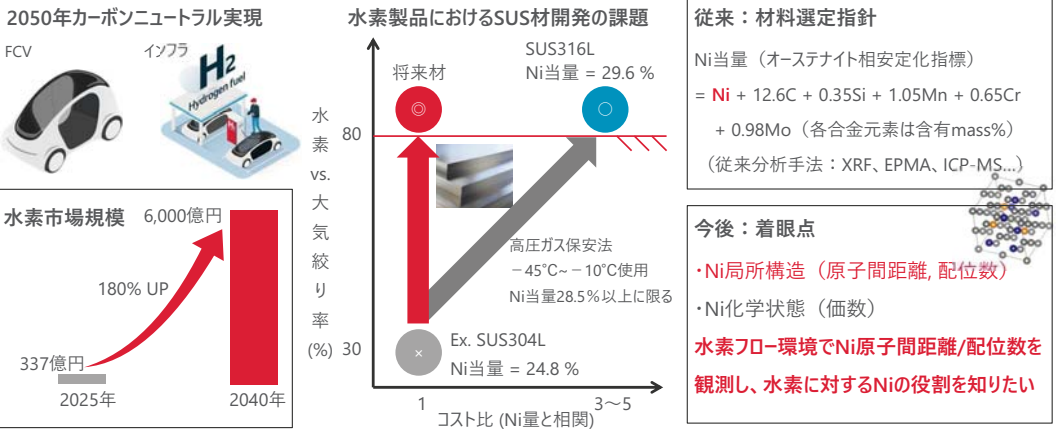
「5つの流れ」を生み出す技術開発と放射光利用による貢献



「5つの流れ」を生み出す技術開発と放射光利用による貢献



耐水素材料開発の事例紹介



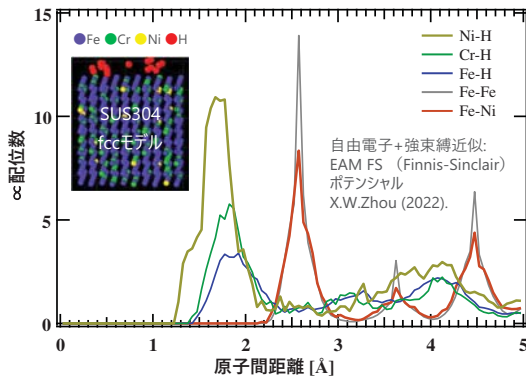
低コスト化に向けて、『Ni当量』に次ぐ新たな材料開発指針を導出

分子動力学による鉄鋼中Niと水素の相互作用解析

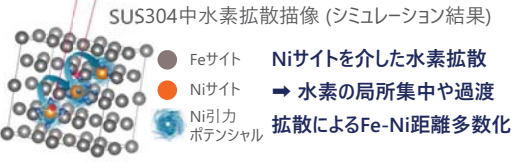
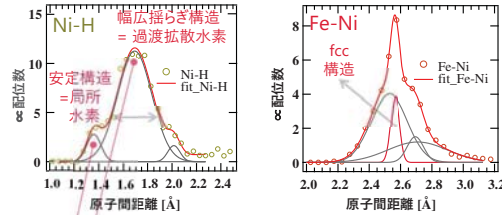
事例②

【計算内容】水素拡散シミュレーション

時間累積動径分布関数 ($T = 550\text{ }^\circ\text{C}$, $p = 1\text{ atm}$, $t = 130\text{ ps}$)



動径分布関数の詳細考察

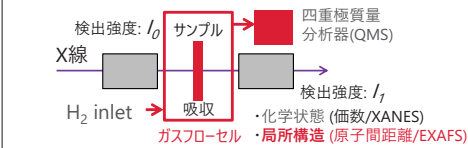


実験ではNi-H距離は観測不可、Fe-Ni距離を実測し水素拡散現象を解明へ

【実験検証】水素環境XAFS構造解析によるFe-Ni距離多数化

事例②

実環境評価装置：水素フロー-XAFS



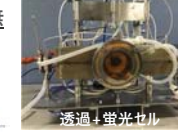
ガスリーク無
リング



<参考技術>



豊田BL



透過+蛍光セル

550°C = 823 K
20 ccm H₂ for 5 h

RT

RT

水素フロー特化
・ヒータ出力
・断熱材厚

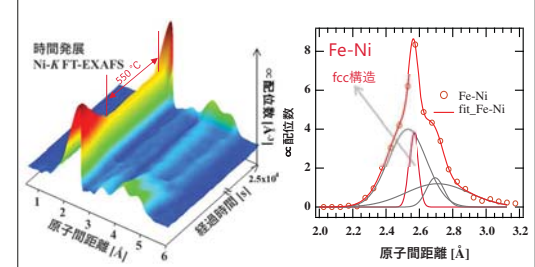


<参考技術>



幕張理化硝子

実験結果 分子動力学シミュレーション

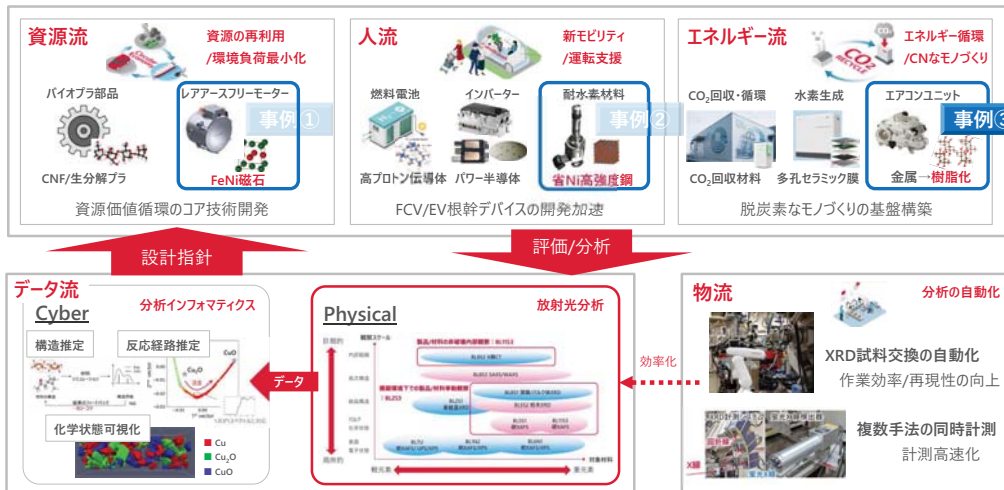


・Ni原子周辺の配位構造に揺らぎを確認。
・シミュレーションのFe-Ni距離分布多数化と整合。
⇒ Niと水素に特別な相互作用

Niサイトを介した水素拡散制御により、鋼の水素脆性をコントロールできる可能性

Ex. Niを均一分布させる熱処理条件探索 ⇒ 304相当組成の高強度鋼を実現

「5つの流れ」を生み出す技術開発と放射光利用による貢献



放射光イメージングの活用事例紹介

事例③



重点取り組み：樹脂材料の活用



樹脂材料活用でCO₂-Nに貢献



過酷な車載環境
⇒ 放射光イメージングによる視覚化が有効

Stress (市場負荷) Strength (材料強度)

事例1/2 樹脂内部ストレスの3D可視化

画像相関法

検出器

FRP樹脂

ランダムパターンの移動を追跡

外力付加

繊維ファイバーをパターンとして利用

変形

3Dデータ

変形前後の3Dデータを比較/ひずみ算出

冷熱負荷 + 画像解析で内部ストレスを可視化

実使用環境下における内部負荷状態を可視化、製品設計に活用

高温

低温

冷却空気

PPS AI

接合面

樹脂

金属

膨張

収縮

垂直ひずみ

せん断ひずみ

ひずみ [μST]

3E4

2E4

1E4

0

5.0E3

2.5E3

0

-2.5E3

-5.0E3

100μm

100μm

事例③

Stress (市場負荷) Strength (材料強度)

事例2/2 強化繊維の3D定量化 & 4D観察

■ CN/CE材料開発において必要な評価項目

金属の樹脂化 バイオ/リサイクル

Re-CFRP

木質ファイバー (CNF)

材料強度発現には... 繊維の長さ/配向が大事

⇒ 3D的な定量化評価技術

破壊進展挙動の可視化

0N

0.6N

0.7N

0.13m

静的引張負荷

試験片

X線

マイクロCT 引張試験機

繊維長さ

ThermoFisher

繊維配向

スキン層

コア層

スキン層

高精細画像 + 3D画像解析で強度データと紐づけ

外力印加 + 時系列CTで壊れ方を可視化

3D定量化/4D観察で特性/壊れ方精査、材料設計/保証に活用

事例③

最後に

5つの流れをつないで循環型社会構築に貢献していく上で、製品や材料を正しく評価する眼である「放射光分析」は欠かせない基盤技術となっています。本講演では、2本の専用ビームラインを活用した事例についてお話しさせていただきました。今後も、クリーンで快適なモビリティ製品の開発を加速していくため、「放射光分析」を有効活用して行きたくなります。

ご清聴頂き、有難うございました。

謝辞

- ・デンソー専用BLの建設計画時より、あいちシンクロトロン光センターの歴代の所長様をはじめ、スタッフの皆様にご多大なご協力を賜りました。
- ・分析装置の設計から測定/解析まで、名古屋大学の田淵先生、松山先生をはじめ様々な先生方より多大なご支援/ご指導を賜りました。
- ・本発表を作成するにあたり、デンソー専用BLに携わる皆様より多大なご協力を賜りました。

DENSO
Crafting the Core