

量子ビームの相補的・相乗的利用について

科学技術・学術政策局 研究開発基盤課
量子研究推進室

量子ビームの相補的・相乗的利用の事例①

Super Photon ring-8 GeV



大型放射光施設「SPring-8」

兵庫県 播磨科学公園都市



入射X線
サンプル
蓄積リング棟
サンプリング場
検出器
画像

物質中の百ナノメートル（ 10^{-7} m）領域の構造体のサイズや形状を測定。極めて小さな角度（10万分の1度以下）で散乱するX線を観測することで、極微小領域の構造解析が可能。→ ゴム分子中のシリカ粒子（補強材）がつくるネットワーク構造を解明。

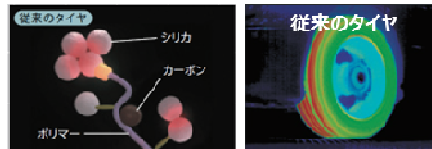
【成果】高性能・高品質な低燃費タイヤの開発

放射光

【利用期間:2003年度～, 中心研究者:岸本浩通(住友ゴム工業(株)), 研究協力者:雨宮慶幸・篠原佑也(東京大学) 他)】

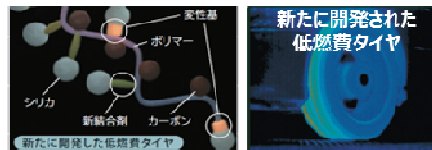


住友ゴムの主力商品「エナセーブPremium」他で実用化



ゴム中の補強材（ナノ粒子＝シリカやカーボン）が凝縮して塊状となり、ゴム（ポリマー）との結合点が少ない

↓
タイヤの摩擦抵抗を39%低減し、従来品より6%燃費を向上させた低燃費タイヤの開発に成功（2011年）



シリカ粒子の分散性が増し、シリカとポリマーの結合力が向上 → グリップ性能、燃費性能ともに向上

- SPring-8独自の時分割二次元極小角X線散乱法により、ゴム中のナノ粒子の三次元配置を数百ナノメートルオーダーで精密に計測することが可能となった。全ての車両で燃費が6%向上したとした場合、消費者価格では年間約7,000億円相当（※仮定に基づく試算値）の コストダウンによる経済効果。現在は他の主要タイヤメーカーもSPring-8を利用。

〔 ※ H25.6エネデータをもとに、ガソリン価格：152円/ℓ、軽油価格：132円/ℓ等を仮定（理化学研究所・JASRI調べ） 〕

【発展成果】タイヤの相反性能を飛躍的に向上させる新材料開発技術

放射光

中性子

スパコン

- 更に、東京モーターショー2015では、タイヤの相反性能である低燃費性能、グリップ性能に加え耐摩耗性能の大幅な向上が可能となる最新技術を発表。これは

- ・ SPring-8の高輝度放射光によるゴム分子の構造解析、
- ・ J-PARCの中性子実験による運動解析、
- ・ スーパーコンピュータ「京」による大規模分子シミュレーション

を連携させた、SPring-8を起点とした先端大型施設のローテーション・ユースの成果。

- 2016年11月、本技術を採用した第一弾の製品が販売開始。漸進的な性能向上ではなく、従来製品に比して耐摩耗性能が51%と飛躍的に向上。

- 本技術は、2017年2月にドイツで開催された「Tire Technology Expo 2017」において、「Tire Technology of the Year」を受賞するなど、国際的にも高く評価。



東京モーターショー2015で新コンセプトタイヤを発表する池田社長（住友ゴム）



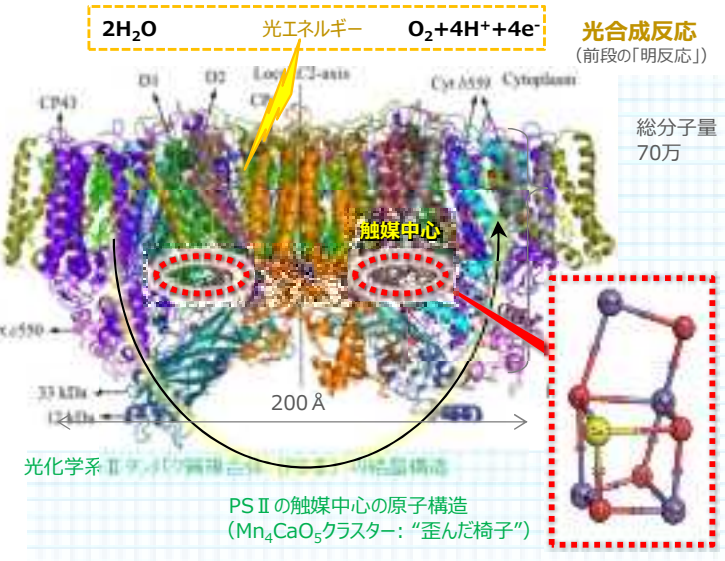
量子ビームの相補的・相乗的利用の事例②

【成果】27億年かけて植物が発達させた「光合成」の核心的な構造メカニズムを解明 - 人工光合成開発への糸口 -

【利用期間:2005年度~, 中心研究者:沈建仁(岡山大学)他】(2002.11~2005.10:JST「さきがけ」)

放射光

X線自由電子レーザー



- 植物が、光化学系 II 複合体 (PS II) という膜タンパク質で水分解を行い、生命が必要とするエネルギーと酸素を作り出すことは長く知られていたが、**触媒中心の原子構造や反応機構は未知**のままだった。

PS II の全構造とその「触媒中心」構造を解明することに世界で初めて成功

(Nature 2011, 473)

(米サイエンス誌の「ブレイクスルー・オブ・ザ・イヤー2011」の1つに選出)

さらに、X線自由電子レーザー施設「SACLA」で開発した解析法により

PS II の構造を1.95 Å分解能で完全解明することに成功

(Nature 2015, 517)

- 27億年をかけて発達してきた**自然界の光合成が、原子レベルで行われているかの解明**につながる重要成果であり、**動的メカニズムや人工光合成開発への糸口と期待**。

Super Photon ring-8 GeV



兵庫県 播磨科学公園都市

- “歪んだ椅子”の解明により、初めて、この構造的不安定さが、水分子を取り込んで分解するメカニズムの核心部分ではないかとの推定が可能に。

- SACLAではフェムト秒 (10⁻¹⁵s) パルスで、X線による放射線損傷前に観察可能。これにより、鍵となる“歪んだ椅子”の構造をSPring-8使用時から0.1~0.3 Å程度さらに正確化。



触媒中心にあるMn₄CaO₅クラスターは、光エネルギーを得つつ、S₀からS₄までの反応を経て水分解を行っていると考えられている(「コックサイクル」モデル)。

【今後期待される進展】

X線自由電子レーザー

中性子

スパコン

- 「SACLA」利用：PS II 試料に光を当てて短時間の反応を進めつつ、「SACLA」のフェムト秒パルスで極めて速い動きを観察することにより、**PS II の触媒中心がいかにか動的に構造変化を起こしつつ水分解を行っているか**を解明。
- 「J-PARC」利用：放射光では観察が難しい、PS II における**水素原子の位置や動き**を「J-PARC」大強度中性子線で観察することにより、**PS II がいかにか水を取り込み分解するか**を解明。
- また、スパコン「京」を用いた分子シミュレーションとの共同研究も既に開始。SPring-8、SACLAを起点としつつ、**先端大型研究施設をフルに活用したローテーション・ユース**による画期的成果の創出に期待。



X線自由電子レーザー施設「SACLA」 大型放射光施設「SPring-8」



スーパーコンピュータ「京」



大強度陽子加速器施設「J-PARC」



〔2016年1月作成
2017年5月更新〕

量子ビームの相補的・相乗的利用の事例③

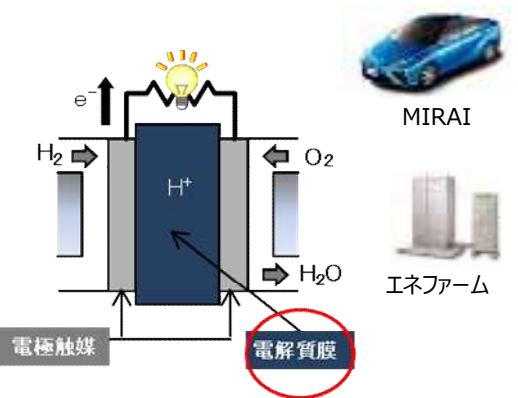
【成果】燃料電池システムのコスト低減を可能とする新しい電解質膜を開発



【中心研究者：前川康成氏（量子科学技術研究開発機構（QST）高崎量子応用研究所）他】

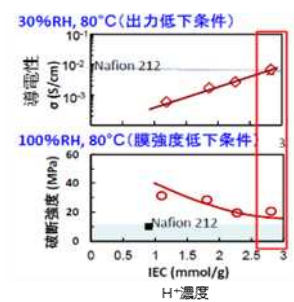
- 電子線
- ガンマ線
- イオン
- 放射光
- 中性子

普及が進む「プロトン型」水素燃料電池



【課題】 H⁺の動きを保つために行われる水の添加を少なくとも(低加湿化)、高い導電性を保つ膜があるか。これにより、燃料電池システムにおける水添加用の補器を省略しコスト低減が可能となる。

⇒ テフロン、エンプラ等の廉価な高分子基材に、QST高崎研の電子・ガンマ線等を照射し、放射線の作用で新しい電解質膜（「グラフト重合」による新材料膜）を作製。



新材料膜は、低加湿でも、現在実用に使われる材料(Nafion212)と同等出力。また、膜の破断強度(耐久性)も向上。[2013年、2015年、2016年論文発表]

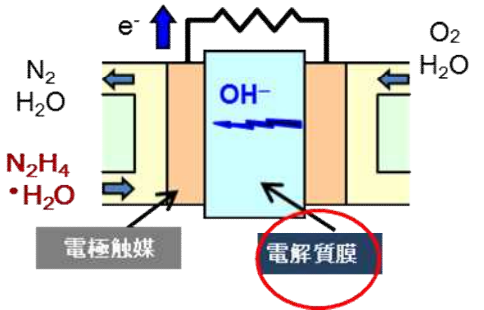
重機メーカー
 ・QSTの特許6件をライセンス
 ・2015年より中規模定置型燃料電池の開発に移行

【成果】まだ実用化されていない白金フリーの「アルカリ型」燃料電池を可能とする新しい電解質膜を発見

【中心研究者：前川康成氏（量子科学技術研究開発機構（QST）高崎量子応用研究所）他】

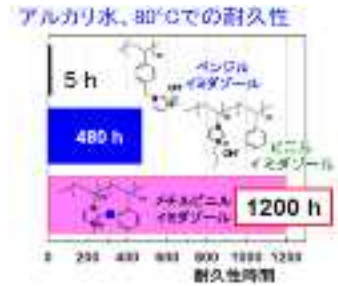
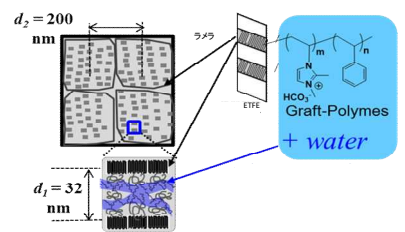
- 電子線
- ガンマ線
- イオン
- 放射光
- 中性子

白金を用いない「アルカリ型」液体燃料電池



【課題】 アルカリ型は、プロトン型と異なり強酸性でないため、白金の貴金属の代わりに、Fe・Co・Ni等の安価な金属を電極触媒に使用できるポテンシャル。ただし、アルカリ性が高いため、膜がすぐに腐食し、耐久性の高い膜の実現に課題。

⇒ QST高崎研のガンマ線等を用いたグラフト重合により、新材料膜を作製。SPring-8やJ-PARC等により、膜の詳細な構造・機能解析を経て、耐久性の高い構造を最適化。



新材料膜は、アルカリ耐性が飛躍的に向上。目標の導電率を1200時間維持。[2014年、2015年、2016年論文発表]

自動車メーカー
 ・30名規模の体制で全社プロジェクトとして推進。
 ・QSTオープンイノベーション・ハブ「先端高分子機能性材料アライアンス」に参画し研究開発を促進。

※QSTでは、グラフト重合の化学構造と物性の関係の理解の蓄積の上に、新材料を探索可能。