

今後5年程度に集中して取り組むべき 研究開発例について（案）

<重点的推進事項>

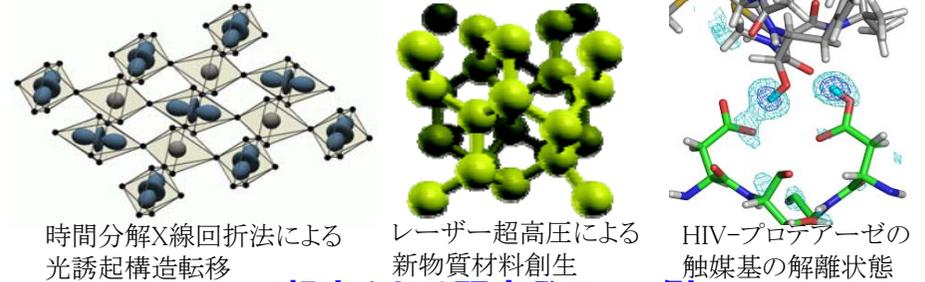
- ①「ものづくり力」の革新を実現する先導的研究開発によるイノベーションの促進
- ②横断的利用の成功事例となる利用研究とその実現に向けた技術開発
- ③産業界を含めた利用者の裾野を大きく広げる研究開発
- ④研究開発と一体的な若手研究者等の育成

<課題解決型の研究開発テーマ>

「光・量子ビームの融合により学術研究から産業応用・基盤技術開発にいたる
幅広い新たなアプローチによる、グリーン・ライフイノベーションへの貢献」

光・量子ビーム研究開発の融合・連携によるイノベーションの創出（案）

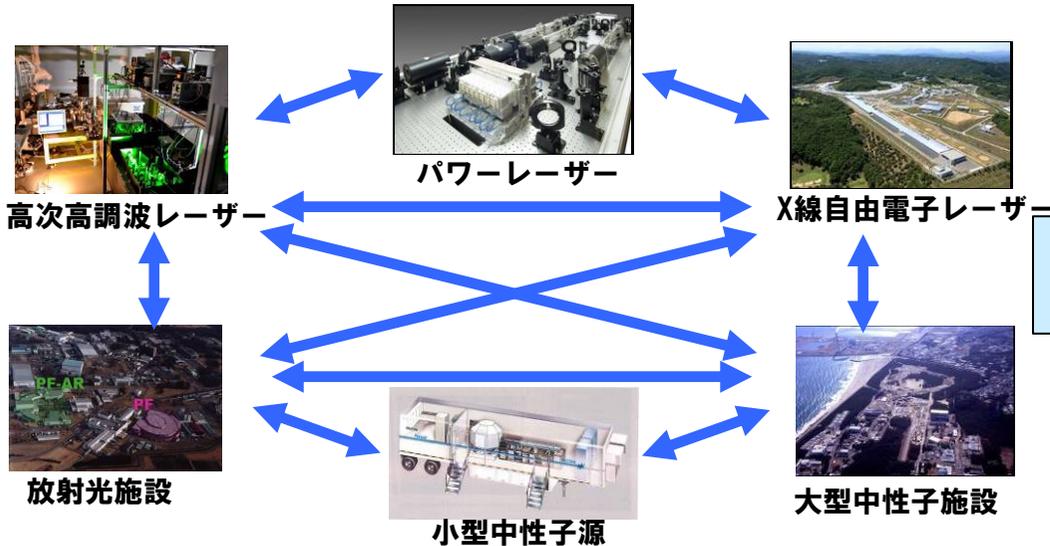
- 光・量子ビーム技術は、ナノテクノロジー、ライフサイエンス、IT、環境等の広範な科学技術や産業応用に必要不可欠な基盤技術。
- 我が国の光・量子研究開発における融合・連携を促進させ、産学官の多様な研究者が参画できる研究環境を形成し、イノベーションの創出、ものづくり力の革新を実現させる。
- これにより、他国の追随を許さない世界トップレベルの研究開発を先導する。



＜想定される研究開発テーマ例＞

- ✓ 触媒反応の超高速動態の解明
→ コンパクトERL、放射光、レーザー連携利用
- ✓ 省エネルギー社会の実現を目指した「摩擦」ダイナミクスの解明
→ 中性子とミュオンビーム連携利用
- ✓ 燃料電池の心臓部である電解質膜の高性能化
→ イオンビーム、 γ 線、電子線の「創る」機能と中性子の「観る」機能の連携利用
- ✓ 極限状態の科学
→ パワーレーザーとXFEL連携利用
- ✓ 光触媒反応の生命ダイナミクスの解明
→ XFEL、放射光、レーザーによる軟X線利用
- ✓ タンパク質の水素ダイナミクスの解明
→ 中性子と放射光連携利用
- ✓ 次世代加速器等の高度化・小型化に向けた研究開発
→ 装置の高度化・小型化等による光量子ビーム融合連携促進

～ 融合・連携研究を促進する研究開発のイメージ図 ～



- 「量子ビーム技術」と「光科学技術」の一体的な研究開発・利用研究を促進。
- 光・量子ビーム分野の“横断的・統合的利用の成功事例となる利用研究”と“その実現を目指した技術開発”を推進。
- 産業界や他分野にその有効性・先進性を展開し利用者の裾野を大きく広げる研究開発等を推進するとともに、若手人材育成、先端光・量子技術を複数使い熟す研究者の増加、コーディネーターの資質を有した研究者の育成を図る。
- 課題解決に向けた先導的取組として、5年程度で一定の成果がでるものを重点的に支援。

融合・連携を促進する利用者本位の技術開発・利用研究によりイノベーション創出を実現！

光・量子融合連携基盤技術開発プログラム（仮称）～具体的なイメージ例～

コンパクトERL、放射光、レーザーによる物質構造ダイナミクスの解析（グリーンイノベーション）

ニーズとボトルネック

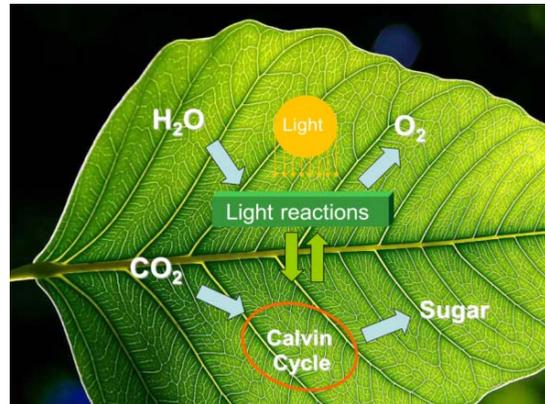
グリーンイノベーションの鍵となる化学反応として注目されている光合成は、分子が吸収した太陽光エネルギーをどのように化学エネルギーに変換するのかが未解明のまま課題となっており、エネルギー変換のメカニズムを知る上で、変換過程における物質構造ダイナミクスを知ることは、極めて重要な要素となっている。

こうした背景を受けて現在、呼吸鎖、光合成といったような膜タンパク質複合体の動的構造等の解析が注目され、主に放射光を利用した解析が進められているところ。

しかしながら、超高速で起こっている光合成の初期過程の理解には、フェムト秒からピコ秒の時間分解能が必要であり、現行の技術で解析することは不可能。

本課題が目指すブレイクスルー

放射光、レーザーに加えてコンパクトERLのそれぞれの特性（波長、パルス幅など）を利用し、物質構造の高速ダイナミクス研究を進めることにより、超高速で起こっている光合成の初期過程の理解に必要な、フェムト秒からピコ秒の時間分解能による解析が可能となる。



人工光合成

期待される成果

触媒反応等について、電子状態変化等も含んだ構造変化を分析することで、新規触媒開発、エネルギー変換・貯蔵素子等のナノデバイス開発研究等への展開が期待。



コンパクトERLを利用したフェムト秒オーダーの物質科学研究



光・量子融合連携基盤技術開発プログラム（仮称）～具体的なイメージ例～

中性子とミュオンによる摩擦メカニズムのダイナミクス階層性研究（グリーンイノベーション）

ニーズとボトルネック

自動車をはじめ様々な工業製品の中で起こる摩擦によるエネルギー損失はGDPの3%とも言われ、摩擦によるエネルギー損失を低減させることが、エネルギー問題解決のために強く求められている。

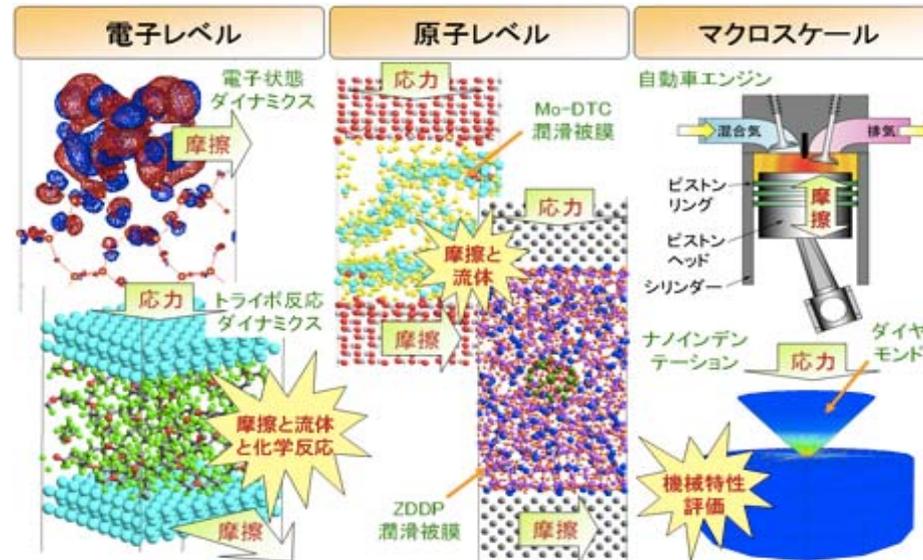
これまで熱力学、物性情報、流体力学などの方法論から、原子レベルでの研究が進んでいたが、メカニズム解明のために重要な電子レベルでの解明については解析プローブのスペックが十分ではなかったことから、解析が進んでいない。

本課題が目指すブレイクスルー

中性子（低エネルギー、原子・分子解析に有利）とミュオン（高エネルギー、バルク表面解析に有利）の測定装置を高度化し、さらに相補的に連携させることで、摩擦ダイナミクスの電子レベルでのメカニズム解明がはじめて可能となる。

期待される成果

航空・宇宙機器、自動車、半導体、ハードディスク分野をはじめとした機械や部品の低摩擦、低摩耗、表面損傷の低減を実現し、省エネルギー社会実現に貢献。



Tribology (摩擦と潤滑の科学) への展開



J-PARCに建設中の中性子スピンエコー分光器群VIN-ROSE



光・量子融合連携基盤技術開発プログラム（仮称）～具体的なイメージ例～

イオンビーム等と中性子を用いた燃料電池用電解質膜の高性能化（グリーンイノベーション）

ニーズとボトルネック

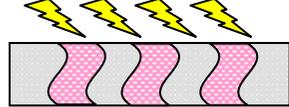
γ線、電子線照射によるグラフト重合や放射線架橋を利用して合成されたメタノール用電解質膜は携帯電話用の製品化プロセスが確立されている。

一方、水素を利用する自動車や家庭用の燃料電池では、高温作動可能でかつ高耐久性が必要である。



イオン照射研究施設 TIARA

電子線・ガンマ線・イオンビームで固体高分子型電解質膜を合成



試料合成

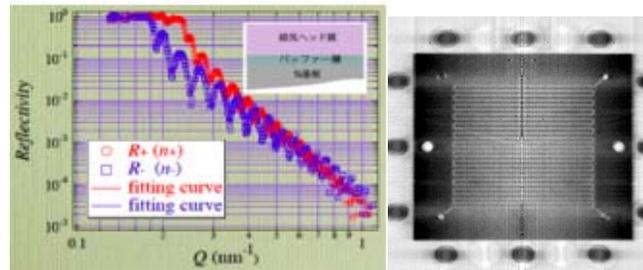
設計へフィードバック

本課題が目指すブレイクスルー

グラフト重合技術や重イオンビームによる高分子膜の穿孔技術の高度化により、高温動作可能で高耐久性を有する固体高分子型電解質膜を合成。試作された電解質膜の内部での水と水素の動きを中性子小角散乱装置で解明。結果を、スパコン等によるシミュレーションと対応付け、さらに高性能な電解質膜を設計。

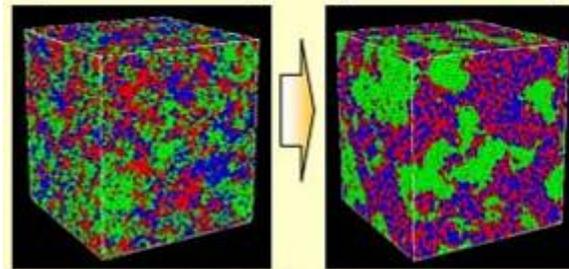
複数の量子ビームとシミュレーションにより製品等のハイレベルな高性能化を可能となる。

中性子測定により水、水素の動きを解明



初期膜構造

平衡膜構造



計算機シミュレーション

期待される成果

自動車や家庭用の燃料電池の研究開発を促進し、安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現に貢献。



大強度陽子加速器施設J-PARC



研究炉JRR-3

対応付け

光・量子融合連携基盤技術開発プログラム（仮称）～具体的なイメージ例～

パワーレーザーとXFELによる新極限物質科学研究（グリーンイノベーション）

ニーズとボトルネック

パワーレーザーで初めて実現できる数百万～1000万気圧以上の超高圧状態は、従来の物質固有の性質に依存した反応・相転移による構造とは全く異なる新しい物質の生成が期待される新たな反応場。

一方、超高圧構造相転移の時間スケールはフェムト秒からピコ秒と考えられており、この相転移を駆動する圧縮波や衝撃波の波面での反応過程は全く未説明。

本課題が目指すブレイクスルー

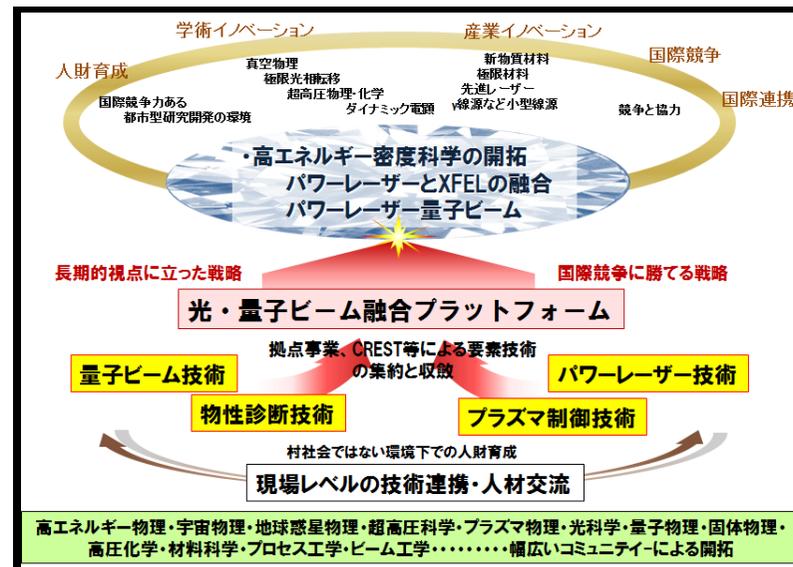
新しい物質材料の設計や開発に必要な不可欠な、ミクロな高圧構造の核形成過程のフェムト秒単位での解析や、波面とその内部に広がるマクロな相転移の過程のピコ秒単位での解析などが、極短パルス・高輝度・コヒーレントなX線自由電子レーザーを使用したイメージング技術によって直接的に初めて観測可能となる。

期待される成果

パワーレーザーが駆動する極限的な超高圧環境下で、ミクロな物質状態や超高速のダイナミクスを解明し、従来技術では実現できない新極限物質材料の探索を可能とすることによって、我が国の物質材料科学技術に関わるイノベーションに貢献。



X線自由電子レーザー施設



物質の極限状態を生み出すことのできるパワーレーザー

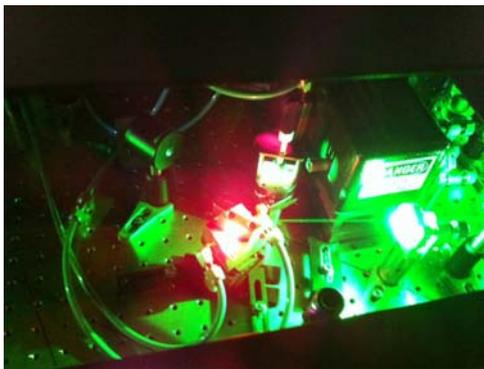
光・量子融合連携基盤技術開発プログラム（仮称）～具体的なイメージ例～

XFEL、放射光、レーザーによる電子構造ダイナミクス解析（ライフイノベーション）

ニーズとボトルネック

光触媒反応等をはじめとした化学反応プロセスの解析について、これまで光電子分光法を用いた電子構造の解析が行われてきたが、現行では、放射光とレーザーでそれぞれ独自に研究開発が行われてきており、その知見が統合されていない。

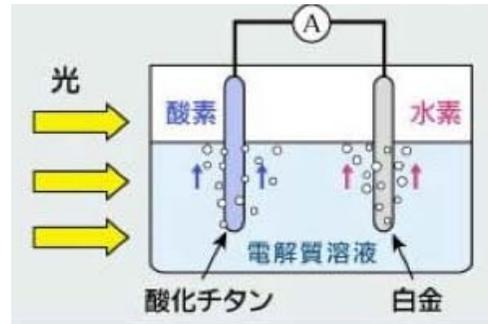
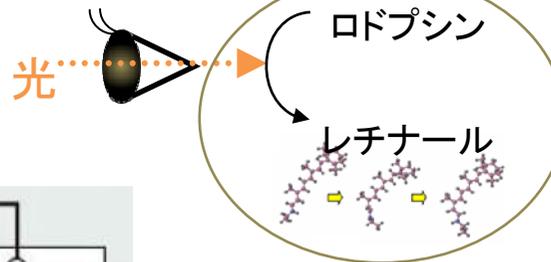
また、こうしたことから、計測されたデータが、材料開発の指針となるようなデータが充分に得ることができなかった。



軟X線領域の実験が可能となる
高次高調波レーザー

本課題が目指すブレイクスルー

これまでの放射光とレーザーに、さらにFELを加えて、これらプローブの融合連携によってはじめて可能となる「超高速分光」を実現し、これにより化学反応における電子構造ダイナミクスの総合的解析がはじめて可能となる。



水の光分解

フェムト秒軟X線分光によって過渡現象を直接的に観測

期待される成果

超高速分光により、化学反応の解析が可能に。

さらに、これらの知見を基にして、タンパク質の視神経、視覚の問題、表面の触媒反応などについて、超高速分光を行うことにより解明が期待。



放射光電子分光装置

光・量子融合連携基盤技術開発プログラム（仮称）～具体的なイメージ例～

中性子と放射光による構造生物学的手法による化学反応プロセスの解明（ライフイノベーション）

ニーズとボトルネック

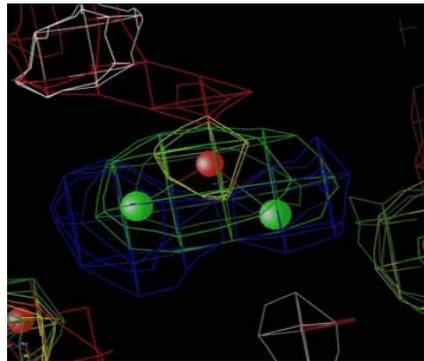
量子ビーム施設を活用することによるタンパク質の構造情報を基にした創薬や生体機能材料の設計を行う際に、タンパク質の水素原子や外殻電子を含めた分子全体を対象とした高精度な研究を行わなければならない。

しかしながら、従来のタンパク質の結晶構造解析技術では、生体反応を決定づけるこれらの構造情報を実験的に決定するのは、解析プローブが十分に整備されていない理由から非常に困難であり、既存の化学的常識に依存した議論に終始している状況となっている。

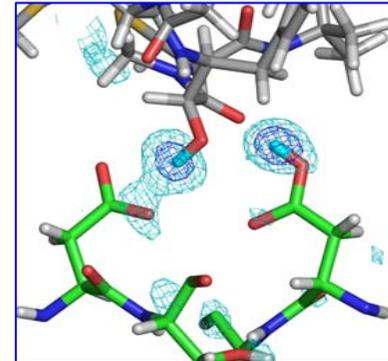


本課題が目指すブレイクスルー

中性子と放射光のそれぞれ
の特性（構造解析は放射光、
水、水素の挙動は中性子）を
利用できる環境を整備し、相補的な利用を図ることにより、
生体反応を決定づける水素原子
や外殻電子についての構造
情報を明らかにする。



放射光による高分解能構造解析が中性子構造解析の必要性を喚起
(中性子と放射光の相補利用によってはじめて把握可能となる水分子の位置)



HIVプロテアーゼにおける水素の位置を示した図

期待される成果

光合成反応や呼吸における反応の化学プロセスの解明や、薬剤がタンパク質に結合する際の分子論的な理解の進展を進める。

生命分子システムの機能発現メカニズムの解明により、新しい方法論による創薬や機能性材料の早期実現が期待。



光・量子融合連携基盤技術開発プログラム（仮称）～具体的なイメージ例～

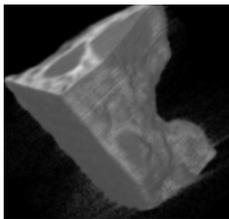
光・量子ビーム科学を支える加速器等の高度化・小型化に向けた研究開発（基盤技術開発）

ニーズとボトルネック

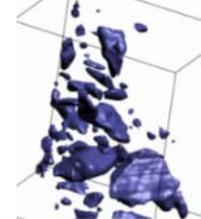
先端施設・装置・技術等の利用拡大には、小型で維持管理の容易なビーム光源等をはじめとした次世代の加速器技術等の開発が必要となっている。例えば、中性子分野では、X線のように研究室規模で使用できる小型線源がほとんどなく、大型施設に限られている。

装置等の高度化・小型化とともに、習熟した人材や装置開発ができる人材の育成、応用分野の開拓や潜在的利用者の掘り起こし等が課題となっている。

我が国には約15万の橋梁があるが、その多くは建設後40-50年が経過し、疲労や劣化が生じている。



全体構造の取得



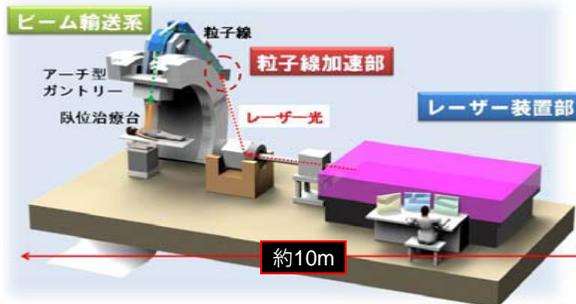
骨材部分の抽出

橋梁等の内部構造を可視化

橋梁やメーカー等工場などでその場観察が可能となる小型・可搬型中性子イメージングシステムの構築。

本課題が目指すブレイクスルー

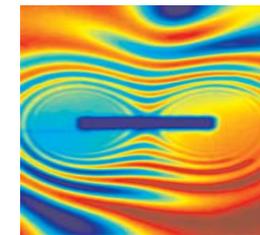
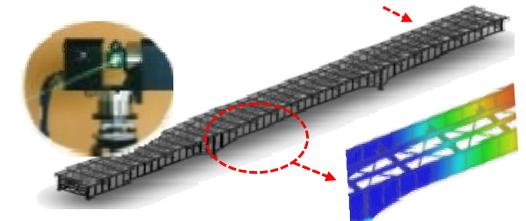
大学や研究機関、ものづくり分野の企業等が連携し、先端加速器等の高度化・小型化、施設・装置の省エネ化・低コスト化、学生やメーカー等産業界の研究者にも簡便に利用できる解析ソフト等を備えたシステムの構築による利便性の向上などを実現する。



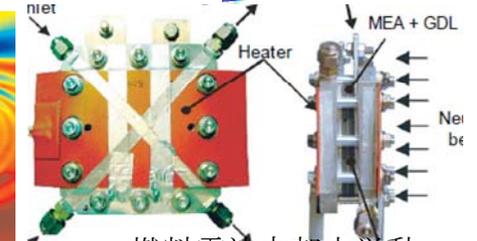
期待される成果

大型施設等のコンパクト化・低コスト化の実現が期待。また、自動車のエンジンや燃料電池、飛行機の機体材料など高機能材料の研究開発のスピードアップ、高品位な製品開発や品質保証等に広く活用が期待され、世界トップレベルの研究開発のための基盤を強化し、産業競争力の強化等に貢献する。

小型中性子源により、従来技術では不可能であった橋梁等大型建造物の内部を直接可視化し、効率的な交通インフラの再生・強化に貢献。



磁場の3次元計測



燃料電池内部水挙動