



SPring-8次期計画2019シンポジウム 事務局
財団法人高輝度光科学研究センター(JASRI)
研究調整部 研究調整課
TEL. 0791-58-0839 FAX. 0791-58-0988
e-mail 2019symposium@spring8.or.jp
<http://www.spring8.or.jp>



第2回 SPring-8 次期計画2019シンポジウム — 光科学の明日 —



平成22年12月4日(土)



会場: 学術総合センター
東京都千代田区一ツ橋

主催: 独立行政法人理化学研究所／財団法人高輝度光科学研究センター
後援: 日本放射光学会／日本加速器学会



SPring-8高度化計画検討委員会
委員長 石川 哲也

2000年以降、世界各国に小型・中型の放射光施設が建設され、放射光の利用は急速に拡大しており、国際競争が熾烈なものとなっています。SPring-8では、最先端の科学に長期に渡って貢献し、10年後においてもなお、新しいサイエンスが展開できる施設であり続けるために、施設の大規模なアップグレードによる光源性能の飛躍的な向上を目指し、2008年に次期計画ワーキンググループを発足させ、2019年を目処とした次期計画の実現に向けて検討を進めています。また、現在建設中のX線自由電子レーザー(XFEL)との相乗利用による新しいサイエンスの実現も期待されています。昨年6月に開催された第1回のシンポジウムでは、本計画の概要が示されるとともに、数十年先を見越した将来の光科学の可能性について幅広い視点から活発な議論が行われました。第2回となる今回は、前回のシンポジウム以降のワーキンググループによる具体的な検討に基づき、次期計画の方向性を打ち出すことを目的としています。利用計画および光源開発案の最新状況を報告し、ご出席の皆様と意見交換を行うことで、計画をより堅固なものにしていきたいと考えております。前回同様、ご参加の皆様にとって有意義なシンポジウムとなることを大いに期待しております。



シンポジウム(中会議場)

13:00	開会の挨拶	石川哲也 (SPring-8高度化計画検討委員会 委員長)
13:10	挨拶	藤吉尚之 (文部科学省)
13:20	SPring-8次期計画の進捗状況	矢橋牧名 (SPring-8次期計画ワーキンググループ)
13:40	次期計画が目指す光科学	鈴木基寛 (SPring-8次期計画ワーキンググループ)
14:05	SPring-8次期計画のための次世代放射光源開発の現状	渡部貴宏 (SPring-8次期計画ワーキンググループ)
14:30	休憩	
14:45	磁性形状記憶合金の発見とその不思議な振る舞い	貝沼亮介 (東北大学大学院工学研究科)
15:20	光で動く分子と結晶	小畠誠也 (大阪市立大学大学院工学研究科)
15:55	生体必須微量金属の役割の解明と臨床応用への展望	深田俊幸 (理化学研究所 横浜研究所)
16:30	休憩	
16:45	フリーディスカッション	
17:25	閉会の挨拶	大熊春夫 (SPring-8高度化計画検討委員会)

懇親会(会議室201/202/203)

17:40	懇親会	
19:00	終了	

SPring-8次期計画の進捗状況

SPring-8次期計画ワーキンググループ 矢橋 牧名



放射光は、数十年にわたり光科学の発展に大きく貢献してきた。各種の精密構造解析や分光法は、物質・生命科学の広範な領域の研究に欠かせないものとなっている。一方で、最近では、超高ピーク輝度・極短パルスのX線自由電子レーザー (XFEL) が登場し大きな話題を呼んでいるが、放射光の「試料に対する摂動を小さく保ったまま非破壊で観測する」という汎用的な特性は、XFELの普及に伴って一層重要になってくると予想される。

SPring-8は、大型の高輝度放射光施設とXFELが同居する、世界でもユニークなキャンパスであり、2つの性質の異なる光源の性能を極限まで突き詰めることにより、飛躍的な発展が期待できる。SPring-8放射光源の今後のあり方を検討するために、2008年10月、理研・JASRIの若手研究者を中心とするSPring-8次期計画ワーキンググループが結成された。2009年6月の第1回の次期計画シンポジウムにおいて、10年後を目処に加速器・ビームラインの大規模なアップグレードを行うという計画を発表し、その後も、詳細な検討を行ってきた。加速器側では、硬X線領域の「回折限界光源」の実現というチャレンジングな課題を掲げ、問題点と解決への道筋を議論してきた。利用側では、俯瞰的にサイエンスを見通すことにより、将来のデマンドを予測する試みを行ってきた。さらに、今年度末を目処にデザインレポートの準備も進めている。今回のシンポジウムでは、これらの検討過程と今後の課題を報告する。

次期計画が目指す光科学

SPring-8次期計画ワーキンググループ 鈴木 基寛



「観る」ことは科学の全ての領域における基礎である。新たな光源は、これまで観ることができなかった系や現象の観察を通して新たな光科学を開拓する。SPring-8次期計画ワーキンググループでは、未開拓分野を切り拓くための放射光利用研究、および必要とされる光源特性の検討をすすめている。特に、硬X線領域における「回折限界光源」の重要性と、X線自由電子レーザー (XFEL) との相乗的利用に注目している。

本講演では、次期SPring-8が実現を目指す光科学として、以下を提案する。

I. 時空間の階層構造のシームレスな理解と階層間の相互作用の解明

XFELがフェムト秒の時間スケールで起こる現象を捉えられるのに対して、次期SPring-8ではピコ秒から秒の時間スケールでの時間発展や相関を追跡することを目指す。同時に、ナノメートルからミリメートルまでの空間スケールをシームレスに観察できるプローブとしての特徴も非常に重要である。

II. 大量試料の統計的分析による不均一系、多様系の科学

次期SPring-8では測定のスループットを数桁向上させることにより、大量の試料を現実的なビームタイム内に解析することを可能とする。これにより、個々の性質にばらつきが大きい大量の試料群から一定の傾向や結論を導き出す手法が実現する。たとえば数万個の大気中微粒子の解析によって、大気環境を同定するなどの応用が期待できる。

III. XFELとの同時利用・相乗利用によるフロンティアサイエンス

XFELをポンプ光、リング放射光をプローブ光とするX線—X線ポンプ・プローブ測定による、X線 (非線形) 励起現象やその緩和過程の観察を計画している。リング放射光で試料部位や結晶方位を同定しXFELで高分解能測定を行うコリレーティブ・イメージングや、両者のデータを適切に結びつけるための次世代スーパーコンピューターの活用も視野に入れている。

このようなリング放射光とXFELとを融合させた利用は、科学技術の様々な分野にブレークスルーをもたらすと期待される。これらの概念と新光源との関係を示したのちに、新たに拓かれる可能性のある領域や研究分野を提示し、10年後あるいはさらに将来における未解決問題の解明にどのように貢献できるかを議論したい。

SPring-8次期計画のための次世代放射光源開発の現状

SPring-8次期計画ワーキンググループ 渡部 貴宏



SPring-8次期計画では、今後展開される新たなサイエンスを支えるべく、光源性能を飛躍的に向上させることを念頭に置いている。具体的には、挿入光源からの輝度を現在の数百倍にするため、加速器、ビームライン、および周辺環境のアップグレードを行う。この際、ユーザーへの影響を極力減らすため、「挿入光源のビームラインの位置は変えない」、「シャットダウン期間は1年」などいくつかの条件を設定している。

光の輝度を飛躍的に上げるには、第一に加速器内で周回している電子ビームの質を飛躍的に向上させる必要がある。この「質」は、加速器用語で「エミッタンス」と呼ばれ、周回電子パンチのサイズと発散角の積で表される。つまり、光の質を表す回折限界と同じDimensionである。

SPring-8次期計画において我々が掲げている具体的な目標の1つは、この電子エミッタンスを放射光のIntrinsicな回折限界（その波長においてこれ以上小さくならない値）と同程度にまで到達させることである。現在各国で建設が進められている最新の放射光源計画をはじめ、これまでの放射光源では、電子ビームの「質」が非常に良いとは言え、光の回折限界よりは桁が大きい。つまり、得られる光の質は電子ビームの質で決定されることになる。しかし、本計画では、電子ビームの質を回折限界まで飛躍的に向上させることで、光のIntrinsicな限界に近い光を活用可能とする。この魅力的な目標は、10～20年後の放射光源開発においてトレンドとなる可能性がある。

このような放射光源の究極の課題を達成するには、光源として様々な革新が必要となる。そのため、SPring-8ではまず、Latticeと呼ばれる加速器の磁石配置を一新する。具体的には、世界中で一般的に用いられ、現在のSPring-8でも用いられている「Double bend lattice」から、より低エミッタンスを生むことが出来る「Multi-bend lattice」（偏向電磁石の個数を倍増するLattice）に変更する。このような変更は、同時に

- ・ビーム動力学において、解析的に解ける線形領域から複雑かつ多量な数値計算が必要な高次非線形領域に至るまで、精密に解析・最適化するプロセス
- ・電磁石、高周波加速空洞など、ほぼ全ての加速器コンポーネントに高い性能を要求するだけでなく、これらコンポーネント間の相互作用を総括的に把握し、最適化するプロセス

を要求する。

本発表では、上記のような放射光源開発における背景（SPring-8特有の境界条件）、具体的な目標、目標に対するアプローチ法、そして期待される光源性能を示す。特に、ビームラインにおける光の輝度やフラックスが現在のSPring-8よりもどの程度向上することが期待されるかについて紹介する。また、上述のようなプロセスを通して明らかになってきた具体的な課題、および課題克服のための取り組みとその進捗状況について報告する。

磁性形状記憶合金の発見とその不思議な振る舞い

東北大学大学院工学研究科 貝沼 亮介



1996年、MITグループによりNi₂MnGa系合金において初めて磁場誘起歪（双晶磁歪）が報告されました[1]。磁場誘起歪とは、物質に磁場を印加すると数%以上も大きく形状を変える性質です。僅かに延びたり縮んだりするだけではないのが従来の磁気歪みとの違いです。この性質を応用して、磁場で動作させるタイプの「磁性形状記憶合金」が検討されましたが、原理的に数MPa程度の応力しか発生できず応用には至っていません。しかし、2006年、我々はNi-Co-Mn-In系合金において、従来の20～50倍に相当する(50～100MPa)の応力を発現する極めて興味深い磁性形状記憶効果を見出し、従来の応力不足の問題を一気に解決することに成功しました[2]。図1は、その新物質NiCoMnIn合金の熱磁化曲線と磁化曲線です。この合金は、見かけは熱で形状を回復するタイプの通常の形状記憶合金ですが、その起源は強磁性母相から結晶が歪んだ常磁性マルテンサイト（M）相へと変態する新しいタイプであることを明らかにしました。その特徴的な現象として、磁場印加により母相が安定になり、数十度も変態温度が低下する「磁場誘起逆変態」を見出しました（図1参照）。我々は材料としての実用性を確認するために、あらかじめ歪を付与した本合金単結晶試料に磁場を印加する実験を行いました[2]。その結果、ほぼ完全な形状回復が得られる事を世界に先駆けて証明し、この新しい形状記憶効果を「メタ磁性形状記憶効果」と命名しました（図2参照）。その後、我々の報告が契機になり、メタ磁性形状記憶合金の研究が世界的に行われた結果、現在では形状記憶効果以外に磁気熱量効果、巨大磁気抵抗効果、巨大磁気熱伝導効果などの関連した新奇現象が次々に見出されています。最近、本合金の低温における磁気特性を調査したところ、冷却中に突然変態が停止したり、加熱途中で（通常の逆変態ではなく!）正変態が生じるなど[3]、従来の常識を覆す興味深い現象が次々と見つかっています。

本講演では、以上の様なメタ磁性形状記憶合金に関する研究を紹介し、今後の研究展望を示します。
(参考文献) [1] APL,**69**(1996)1966 [2] Nature,**439**(2006)957 [3] APL,**92**(2008)021908

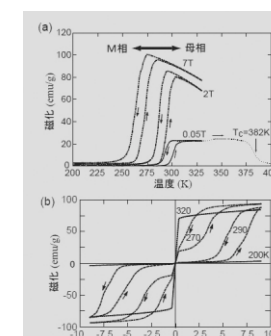


図1 NiCoMnIn合金の(a)熱磁化曲線および(b)主要な温度における磁化曲線 [2]

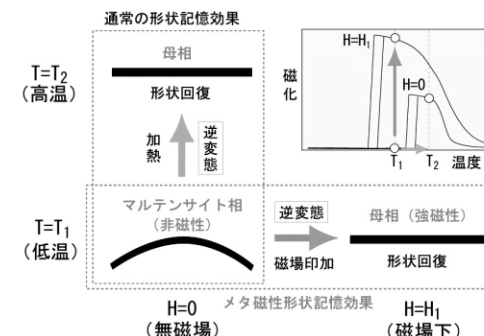


図2 メタ磁性形状記憶効果の説明図。通常の形状記憶効果は、M相での変形後、加熱による逆変態で形状回復させるが、メタ磁性では外部磁場による逆変態を利用する。

光で動く分子と結晶

大阪市立大学大学院工学研究科 小島 誠也



分子自身の機能を利用してナノサイズの物質の機能を発現させることが材料科学のナノテクノロジーに要求されるが、分子一つ一つの変形を利用してマクロな変形を生み出す材料を創生することは容易ではない。トップダウンによる微細加工技術の進歩で、外部刺激に応答するマイクロアクチュエーターが創生され実用化されているが、ナノサイズで駆動するアクチュエーターは分子自身の変形を利用し、分子レベルからマクロレベルに至るまでサイズに依存せず機能させることが必要である。本発表では、光に応答して分子の形が変化するフォトクロミックジアリールエテン結晶の光可逆な結晶変形について講演する。光によって伸縮や屈曲するアクチュエーターは、機械や電気回路などに代表されるように、光学分野、通信情報機器分野、バイオ分野、ロボット分野、医用分野などさまざまな分野で応用が期待される。

光によって可逆的に分子構造を変えることのできるフォトクロミックジアリールエテンの微小結晶に、適切な波長の光を当てることにより可逆にかつ高速に伸縮あるいは屈曲することを見いだしている¹⁾。図1には、その一例を示す。図の上の結晶は、紫外光照射により結晶の収縮が起こり、結晶外形の形が変化している。下の結晶は棒状の結晶であり、紫外光照射により、照射方向に向かって屈曲する。結晶変形は数十回以上繰り返しが可能であり、自重の90倍もの重さの物体を動かすこともでき、メカニカルな機能を発揮するフォトアクチュエーターとして機能する。

さらに、大きな動き、高速な変形、特異な変形を目指して一連の誘導体を合成した。合成した誘導体の結晶に数秒間紫外光を照射し続けるとフォトクロミック反応が進行し、結晶から一定方向に細かなファイバー結晶が生成した。ファイバー結晶の直径は約2 μm であり、紫外光照射により照射方向に向かって屈曲する様子が観察された。屈曲により結晶先端の動作距離は100 μm 以上であり、大きな動きを示した。また、分子構造あるいは結晶構造の違いにより、結晶の光切断、ねじれ現象、スネーク現象などを見いだしている。図2には、ねじれ現象を示す。分子自身にはキラルな置換基は存在しないが、結晶はキラル結晶である。特定の方向にねじれることからキラルな結晶構造がねじれ現象に重要であると考えられる。これらの結晶は、分子が層状にパッキングし、光反応によって π - π 相互作用が生まれたと考えられる。

このように、高速応答性を有する屈曲現象、大きな動きを伴う屈曲現象、特異な結晶変形を分子構造あるいは結晶構造によって制御することに成功している。

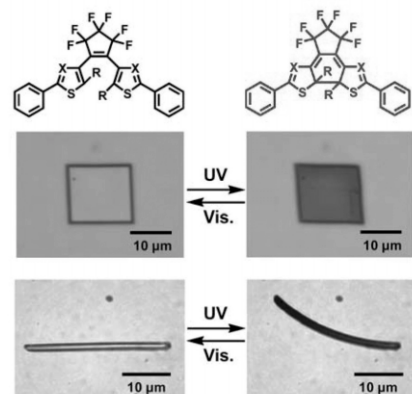


Figure 1. Photoresponsive crystal shape change of photochromic diarylethenes.

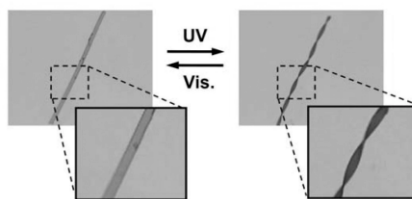


Figure 2. Photoresponsive crystal transforming into spiral.

1) S. Kobatake, S. Takami, H. Muto, T. Ishikawa, M. Irie, Nature, **446**, 778 (2007).

生体必須微量元素の役割の解明と臨床応用への展望

理化学研究所 横浜研究所
免疫アレルギー科学総合研究センター
サイトカイン制御研究グループ 深田 俊幸



生物は、生命活動を維持するために9つの必須微量元素（鉄、亜鉛、マンガン、銅、セレン、ヨウ素、クロム、コバルト、モリブデン）を必要とする。これら元素の体内における量と分布のバランス（恒常性）の破綻は様々な疾患の原因となり、例えば鉄欠乏は貧血を、銅代謝異常は肝機能障害を、亜鉛欠乏は味覚障害や成長遅延を引き起こし、逆にこれらの過剰な摂取は細胞毒性を呈することが知られている。また、水銀やカドミウムなどの生物には必要とされない金属によって、必須微量元素の正常な役割が障害を受けることが示されている。したがって、必須微量元素の恒常性は厳密に制御されなければならない。

必須微量元素の中で2番目に多い亜鉛は、多くの蛋白質の構造維持や活性調節に寄与していることが知られている。最近のゲノム配列の解読により、全遺伝子がコードする約10%の蛋白質が亜鉛結合部位を持つ可能性が判明し、様々な生命機能における亜鉛の生理作用が示唆されている。多様な役割を担う亜鉛の恒常性を維持することは生命活動を営む上で重要であり、この制御は亜鉛輸送体（亜鉛トランスポーター）によって行われる。最近の研究によって、亜鉛トランスポーターは生体の亜鉛の恒常性を維持するだけでなく、様々な細胞機能を特異的に制御にすることが明らかにされている。さらに亜鉛がカルシウムのようにシグナル伝達分子として機能することが示され、必須微量元素研究は新しい局面を迎えている。

本講演では、「シグナル伝達分子としての亜鉛」と「亜鉛トランスポーターによる細胞機能の制御機構」について、それらの異常が成長遅延・骨疾患・結合組織疾患・アレルギー疾患等の様々な病気に関わることを明らかにした我々の研究成果を紹介する。胎動期を迎えている「必須微量元素の生物学」をさらに発展させるためには、それらの元素を細胞内で可視化することが命題であり、その解決に向けた「SPring-8次期計画への期待」についても議論したい。

