

■第31回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (JSR2018) 企画講演報告

企画講演1『情報科学を活用した放射光科学の新展開』

小嗣真人 (東理大/MI²I), 永村直佳 (NIMS/さきがけ)

企画要旨

情報科学の発展はめざましく、放射光との連携融合により新しい分野形成が期待されている。本企画講演では、機械学習を用いた実際の研究例を講演すると共に、基礎物理から産業界まで様々な視点から話題提供を行う。講演を通じて、先端計測と物質機能と情報空間がどのように接続していくか、を俯瞰的に捉えることを目的とする。さらにはパネルディスカッションを設け、機械学習を活用した近未来の研究者像について意見交換を行い、放射光科学の更なる発展に繋げる。

企画参加人数 約115名

講演構成

1. 趣旨説明 小嗣真人 (東理大/MI²I)
2. マテリアルズ・インフォマティクスの2,3の話題 寺倉清之 (NIMS MI²I)
3. スペクトラムイメージ解析のための統計的機械学習法 志賀元紀 (岐阜大学/さきがけ)
4. 量子ビーム実験, 構造モデリング, トポロジカル解析による非晶質物質の構造の系統的な理解 小原真司 (NIMS/さきがけ)
5. 機械学習を使ったトポロジカル物質表面・エッジの研究 大槻東巳 (上智大)
6. 磁石研究への量子ビーム利用における計測・解析の現状と課題 矢野正雄 (トヨタ自動車)
7. パネルディスカッション

司会: 永村直佳 (NIMS/さきがけ)

講演概要

まず始めに、東理大の小嗣より本企画の導入を兼ねて概要説明が行われた。近年発展が著しい情報科学の分野と、機能解析において強力な威力を有する放射光科学の連携融合に関する展望が述べられた。特に放射光科学の得意とする分光解析・構造解析・電子物性・産業応用について先行事例を通じて、将来の放射光科学の発展の一助にしていたきたいとの旨が述べられた。

次に NIMS の寺倉氏よりマテリアルズ・インフォマティクスの概要について、俯瞰的な視点から紹介がなされた。米国の MGI プロジェクトおよび我が国の MI²I の取り組みに触れながら、情報科学をとりまく国際的な情勢について事例紹介がなされた。また逆問題解析の基本的な考え方や、ベイズ推論を用いた実験計画法について紹介がなされ、計測インフォマティクスで発展が期待される効率最適化の基本概念が語られた。

次に岐阜大学の志賀氏より統計的機械学習手法によるスペクトラムイメージ解析について紹介がなされた。スペクトラムイメージ計測で得られる高次元の大容量データに対し、特徴的なスペクトルデータの抽出法および空間強度分布の同定手法について、志賀氏らが開発した非負値行列分解法の詳細について、実際の事例を交えながら研究紹介された。

つづいて NIMS の小原氏よりトポロジカル解析と量子ビーム実験と構造モデリングを組み合わせた非晶質物質の構造解析に関する紹介がなされた。ガラス・液体・アモルファスといった非晶質物質の回折パターンに対して、放射光や中性子などの量子ビームを活用したハイスループット計測や、逆モンテカルロ法による3次元構造モデルの構築、そしてパーシステントホモロジーを活用した情報計測の融合により、非晶質物質の二体相関に潜んだトポロジーの抽出に成功した事例が紹介された。

そして上智大の大槻氏より機械学習を用いたトポロジカル物質における表面・エッジ状態の研究について紹介がなされた。トポロジカル物質の波動関数を画像として捉え、多層畳み込みニューラルネットワークを用いた深層学習によって、2次元物質の金属-絶縁体転移、あるいは量子異常ホール絶縁体-絶縁体転移、トポロジカル絶縁体やワイル半金属の相図を決定した事例について紹介がなされた。

最後にトヨタ自動車の矢野氏より磁性材料の高保磁力化への課題に対する量子ビーム利用について紹介がなされた。マルチスケール・マルチアスペクト(組織と磁気構造)情報の定量化を行うため、透過型X線顕微鏡や中性子小角散乱による計測・解析に取り組んでおり、計測の高速化・解析の高度化のために機械学習を活用する取り組みの紹介がなされた。



またパネルディスカッションにおいては NIMS の永村氏の司会により、ざっくばらんな意見交換がなされた。機械学習を用いた研究を始めたきっかけや、スタートアップを行う際の必要な知識、適切な課題設定をおこなうための考え方など、相互議論を通じて両分野の理解が深まったと考えられる。本企画講演の議論を通じて情報科学を用いた放射光科学の発展につながることを期待したい。

企画講演 2 『VUV 領域の空間および時間コヒーレンス光源とそれを使ったサイエンス』

木村真一 (大阪大学)

企画要旨

最近、エミッタンスが $1 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ 以下の超高輝度光源が稼働し始め、硬 X 線・軟 X 線領域では、これまで以上に空間コヒーレンスを狙った研究が可能になってきている。一方で VUV 領域では、 $1 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ のエミッタンスで回折限界に達するため、既存の加速器技術で完全空間コヒーレンスを持った光が得られる。また、最近のレーザー高次高調波技術の発展に伴い、時間コヒーレンスの高い VUV 光が得られるようになってきた。本企画講演では、これら空間・時間コヒーレンスを使った新しい VUV サイエンスを議論する。

企画参加人数 約130名

講演構成

1. 「趣旨説明」 木村真一 (阪大生命機能)
2. 「空間コヒーレンスを狙った $1 \text{ GeV} - 1 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ 光源」
加藤政博 (UVSOR)
3. 「時間コヒーレントなレーザー VUV 光源の発生と応用」
伏谷瑞穂 (名大理)
4. 「VUV 光渦を用いた原子分子研究の現状と展望」
金安達夫 (佐賀シンクロ)
5. 「アト秒パルス光源を用いた半導体電子系のペタヘルツ光動作」
増子拓紀 (NTT 物性科学基礎研)
6. 「顕微 ARPES の現状と展望」
岩澤英明 (Diamond Light Source)
7. 「総合討論」

講演概要

最初に、木村によって本企画に関する趣旨説明が行われた。近年の加速器技術の進歩によって、エミッタンスが $1 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ 以下の超高輝度光源が世界各地で稼働し始めているが、それを光エネルギー 100 eV 以下の VUV 領域に応用するとすべての領域で回折限界光になる。すなわち、完全空間コヒーレンス性をもった VUV 光が手に届くところにある。また一方で、最近のレーザー高次高調波技術の発展によって、アト秒パルスの生成が可能になり、VUV 領域でも時間コヒーレンスの高い光が得られるようになってきた。これらの光源およびそれを使ったサイエンスは、昨年企画講演 3 『キラリティー科学から低エネルギー回折限界光源への期待』、および、本企画提案者を含む有

志で開始した「回折限界 VUV 光源研究会」で議論を重ねてきた。本企画講演では、これまでの議論を一旦まとめるとともに、放射光学会会員に、X 線領域だけではなく VUV 領域の高輝度光源の必要性を広く認識していただくことが目的であることが示された。

まず、現在の加速器技術で可能になる VUV 領域の回折限界光源とはどのようなものかについて、加藤氏から紹介があった。電子ビームの低エミッタンス化によって、光本来の固有エミッタンスを電子ビームが下回ることにより、回折限界に達し、完全な空間コヒーレンスを持つ光になる。この回折限界を与えるエミッタンスは光の波長のおよそ $1/10$ であるため、 100 eV 以下の真空紫外光であれば、 $1 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ 程度のエミッタンスで回折限界に達する。また、アンジュレータを光源とした場合、電子ビームのエネルギーは 1 GeV で十分であるため、 $1 \text{ GeV} - 1 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ が回折限界の VUV 光源のパラメータであることが示された。また、このような光源を利用するための可能性について、新規電子蓄積リングの建設、既存のリングの改造、小型エネルギー回収型ライナックなどについて紹介された。これらのうち、最も可能性が高いものとして、既存の X 線リングの低エネルギー運転の可能性について示され、聴衆の関心を集めた。

次に、VUV 領域の超短パルスレーザー技術について伏谷氏から紹介があった。高強度フェムト秒レーザーを希ガスなどの非線形媒質に集光して得られるレーザー高次高調波をはじめとして、レーザーの非線形光学効果を利用して波長変換された超短パルス光源は、基本波レーザーの高いパルス品質を反映して、時間的・空間的にコヒーレントな性質をもつ。レーザー高次高調波の性質として、VUV から軟 X 線におよぶ広いスペクトル幅 (ただし離散的) があり、フェムト秒からアト秒の時間スケールに達する時間幅を有するなど、放射光と相補的な性質があることが示された。これらの性質を用いて、光電効果における時間遅延や分子内の電荷移動など、これまでの技術では観測できなかった超高速過程に関する研究が紹介された。

空間コヒーレンスが必要な研究の例として、金安氏から、VUV 光渦を利用した原子分子研究について紹介があった。光渦は、従来の直線偏光や円偏光とは違い、螺旋波面を持ち、軌道角運動量を運ぶ特異な性質を持つ光であり、レーザーを用いて可視から近赤外の領域で盛んに研究が行われてきたものである。最近ではレーザーの高次高調波の利用や放射光源の利用で短波長化が進んでいる。アンジュレータの高調波は簡便に波長可変の短波長の光渦を得る方法であること、また、希ガス原子の光電子角度分布測定の現状が紹介された。今のところ、光渦による多重極遷移の効果は観測されていないが、その原因として、サンプルの非局在性やエミッタンス性が考えられており、空間コヒーレンス光源によって改善される可能性があることが示された。

時間コヒーレンスの例として、パルスレーザーの高次高調波による真空紫外アト秒パルス光源を用いた時間分解計測の研究の現状を増子氏より紹介された。固体中の電子双極子の応答過程は光と物質の相互作用を理解する上で重要であり、可視～紫外領域の光の双極子応答を観測するためにはアト秒パルスが必要である。この光を用いた研究例として、窒化ガリウム GaN の近赤外パルスによる 3 光子励起によって、伝導帯へ励起された電子のダイナミクスを観測した例が示された。

研究例の最後として、角度分解光電子分光 (ARPES) の顕微分光への応用の現状と将来展望について、岩澤氏から英国 Diamond Light Source のビームライン I05 について紹介があった。ARPES は放射光を用いた VUV 領域で最も発展した研究手法の 1 つである。現在は、 μm ～nm の空間分解および電子構造イメージングへの展開が進められており、光源の空間コヒーレンスが上がることでさらに発展することが期待されている。I05 の Nano-ARPES 装置では、ゾンプレートによって $1\mu\text{m}$ 以下に集光され、自動測定プログラムにより、ARPES の空間マッピングが可能になっていることが紹介された。

最後に、総合討論として、木村から VUV 放射光源の近未来について簡単に説明された。国内の VUV 放射光源である UVSOR や HiSOR は 10 年後には更新時期を迎えるため、今後は回折限界光を視野に入れた計画を進める必要があることが強調された。また、聴衆から、レーザー光源との比較で、連続光である放射光は必要であるという意見が出された。

この企画講演は、VUV 関係者だけではなく X 線を主に使っている会員の参加が見られ、関心の高さが伺われた。世界中で多くの 3 GeV クラスの光源加速器が建設され、国内でも同様の計画が進み、X 線領域が世界的に充実されつつあるが、その一方で、VUV 光源の数はどんどん減少している。今回の企画講演で、VUV 光源の重要性が広く再認識され、10 年以内に回折限界の VUV 光源が使える日が来ることを期待したい。

企画講演 3 『生命機能に迫る相関構造解析の最前線』

山本雅貴 (理研), 清水伸隆 (KEK/PF),
岩崎憲治 (阪大)

企画要旨

生命機能の理解に向けて、放射光による膜タンパク質を初めとした高難度サンプルの結晶構造解析、フェムト秒 XFEL による状態遷移を直接捉える時分割構造解析など X 線による生体高分子の構造解析に加え、近年ではクライオ電子顕微鏡による複合体やマルチコンフォマーの単粒子解析、さらには計算機科学と組み合わせて構造ダイナミクスに迫る相関構造解析が進められている。本企画ではこれら最先端の生体高分子の構造機能解析の特徴を紹介してその相補利用によりどこまで生命機能に迫れるのかを議論

した。

共催：日本顕微鏡学会

後援：国立研究開発法人日本医療研究開発機構

企画参加人数 約90名

講演構成

1. 「生命機能に迫る相関構造解析における結晶構造解析」
山本雅貴 (理研)
2. 「相関構造解析における X 線小角散乱」
清水伸隆 (KEK/PF)
3. 「低温電子顕微鏡による生体高分子複合体の構造解析」
光岡 薫 (阪大)
4. 「自由電子レーザーによる膜タンパク質の構造の分子
動画撮影」
岩田 想 (京大)
5. 「X 線小角散乱実験と分子動力学計算の相関構造解析」
池口満徳 (横浜市大)
6. 「クロマチンの高次構造とダイナミクスの相関構造解
析」
胡桃坂仁志 (早稲田大)
7. 「総合討論：新世代構造生物学基盤としての放射光・
電顕連携」
岩崎憲治 (阪大)

講演概要

最初に企画提案者の山本からの趣旨説明を兼ねて、複数の生体高分子構造解析手法と計算機科学を組合せた相関構造解析とそこでの結晶構造解析の特徴を紹介した。タンパク質の機能発現には、その構造のゆらぎや多様性が不可欠であり、高い分解能での構造が得られるが静的な結晶構造解析では、ダイナミクスや構造多様性の解析に限界があり、他の解析手法と組み合わせた相関構造解析の重要性が力説された。併せて、生命機能の解明から創薬を目指した AMED・創薬等先端技術支援基盤プラットフォームも紹介された。

続いて、清水氏から BioSAXS について溶液中のタンパク質分子や複合体の大きさ、形状の評価に加え ab-initio 法による概形モデル構築が紹介された。また、分子動力学計算での多様な分子モデルの計算散乱曲線と SAXS 実験の散乱曲線との比較により、結晶が出来ない試料について、単体の結晶構造から複合体構造を求める事例も紹介された。このように、BioSAXS は溶液中での構造・性状を理解することや、高分解能の構造と情報科学的解析を繋ぐ役割で重要視されている。最近では、ゲル濾過や多角度光散乱法 (MALS) と組み合わせた多分散試料の高精度解析も可能で、分離した非平衡状態の標的サンプルだけの解析も可能になってきた。

Richard Henderson 博士らが 2017 年ノーベル化学賞を受賞したクライオ電子顕微鏡について、共催である日本顕微鏡学会から光岡氏を招いて、近年の装置自動化と電子直接検出器の開発による技術的発展とその解析の特徴について紹介いただいた。クライオ電顕による構造解析は、大きな分子、対称の高い分子、純度の高い試料を得意とし、複数の状態が混ざった試料についても解析可能である。さら

に、小さな分子の構造解析に向けた技術開発も進んでおり、ボルタ位相板を利用することで小さいながらも重要な GPCR 複合体の構造解析が紹介された。一方で、クライオ電顕による構造解析ではサンプルの均一性や濃度は結晶化と同程度必要だが、3次元の構造分類が可能であることから、複数状態のアンサンブル構造が解けることが示された。例として、リボソーム内での tRNA の動きや、光岡氏が解析した V-ATPase の 3 状態の構造解析結果を紹介した。

次に岩田氏より 10fsec 以下の超短パルス X 線レーザー光により、放射線損傷のない構造が得られる XFEL の特徴が示され、実時間にそった複数の構造解析による分子動画作成への取組みが紹介された。反応過程の分子動画を得るためには、反応開始のトリガーが必要で光照射を利用したポンププローブ法による解析例として、バクテリオロドプシン (BR) を挙げた。この解析では、最初に発色団 (レチナル) に生じた構造変化が時間とともにタンパク質の外側に伝わっていく様子が明らかになった。また、溶媒混合を利用して反応を開始する分子動画の例としてイソクエン酸脱水素酵素が時間とともに活性部位に基質が入り込む様子を示した。このように分子動画では構造変化の過程を直接比較することで弱い相互作用の反応中間体まで明らかにできるとの事であった。

次いで、池口氏より分子動力学 (MD) シミュレーションについて計算原理とスパコンの発展に伴う MD の高速・大規模化の歴史が紹介された。MD は様々な実験データとの組合せによりさらなる威力を発揮しその連携方法には 1) 実験データを拘束条件とした MD 計算, 2) 独立な MD 計算と実験データの比較, が考えられる。1) として、結晶構造モデルを MD でフレキシブルに電顕像に合わせながらの構造構築や、NMR の測定結果を拘束条件とした MD 計算, 2) として、結晶構造とは異なる溶液構造の解析に、MD 構造からの散乱曲線と SAXS データの比較により、溶液中での機能構造を明らかにした例を紹介した。今後、リガンド結合過程の解明やアンサンブル構造の精密化に向けて高度化していく。さらに MD と電子顕微鏡の関わり方として、従来の様な低分解能電顕像へのフィッティングだけではなく、高分解能電顕像へのアミノ酸側鎖のモデル構築等にも利用できると述べられた。

最後の講演者として胡桃坂氏が、様々な解析手法を組み合わせたスクレオソームの構造解析結果を紹介した。転写でみられるオーバーラッピングダイスクレオソームの構造解析として、リンカーを短くしたダイスクレオソームを製作し、質量分析によりヒストンタンパク質の構成比率を特定した上で、X 線結晶構造解析によりその立体構造を決定した。オーバーラッピングダイスクレオソームの構造から相互作用領域を見つけ、その領域の変異体を用いた SAXS から 2 つのアミノ酸が相互作用に重要な役割を持つことを明らかにした。さらに、転写が起こらない状態の

ヘテロクロマチンの構造解析も紹介した。この構造解析では結晶化が上手くいかなかったためクライオ電顕を利用し、全体構造の分解能は 11Å 分解能であったが、リンカー領域の DNA が相互作用していないことを明らかにした。今後の展開として、クライオ電顕の解析は分解能が低くともトモグラフィーを行えば、in-vivo の構造を直接観察可能であり、より大きな構造多様性解析等に期待するとの事であった。

講演を受けて、日本顕微鏡学会からの提案者の岩崎氏をモデレータとした総合討論を行った。まず岩崎氏から、適用する各手法の利点について高分解能の構造を得るのであれば X 線結晶構造解析であり、時間軸に沿った構造解析についても X 線 (XFEL) だろうとの考えが示された。クライオ電顕はアンサンブルの集まりなので、時間軸という観念は無い。巨大分子や複数のコンフォメーションの場合はクライオ電顕の単粒子解析、さらにはトモグラフィーによる細胞内の高次構造解析が可能である旨の要約があった。その後、X 線と電顕の役割分担やマルチアプローチによる相関構造解析について討論を進めた。その中で化学反応を直接説明するミクロな視点から、細胞レベルの高次構造まで含めたマクロな視点まで様々な解析法の相補利用と融合について意見が出され相関構造解析の重要性について認識を深めることができた。さらに、利用者視点からの利用窓口の一本化や放射光施設への電顕整備の重要性まで様々な議論が進められた。

今回初めて日本顕微鏡学会との共催による企画講演となったが、構造生物学関係者のみならず他分野からも 80 名を超える参加者が得られ、放射光・XFEL のみならずクライオ電子顕微鏡への高い関心と期待感が感じられ、相関構造解析による構造生物学を紹介する良い機会を得られたものと確信している。今後も、日本顕微鏡学会との連携を模索しながら放射光学会員の皆様と継続的に我が国の放射光構造生物学の将来像を議論できる場を設けていきたい。

企画講演 4 『放射光における検出器開発』

初井宇記 (理研放射光センター), 岸本俊二 (KEK-PF)

企画要旨

放射光実験での検出器の重要性は増大している。そこで検出器開発の現状を議論するため、まず課題の整理を行う。さらに具体例として、軟 X 線から硬 X 線領域までの画像検出器について到達点と開発の将来展望を議論する。すべての検出器を放射光コミュニティ単独で開発することは不可能である。そこで、素核宇宙、工学分野との連携事例や産業界での開発について議論し、他分野との連携のあり方を考える。

企画参加人数 75名

講演構成

1. 趣旨説明と課題の整理 初井宇記 (理研)
2. SOI X 線ピクセル検出器開発プロジェクトの現状

新井康夫 KEK 素核

3. 次世代硬 X 線画像検出器の開発 初井宇記 (理研)
4. 超伝導トンネル接合を用いたエネルギー分散型 X 線検出器アレイの開発 志岐成友 (産総研)
5. 計測分析機器産業から見た検出器技術の動向と社会実装の方向性 岡田明彦 NEDO 30 min.

講演概要

はじめに初井が、本企画講演の趣旨説明を行った。放射光コミュニティにおいて検出器の重要性は強く認識されるようになってきている。実際、米国では SLAC の X 線自由電子レーザー施設 LCLS が 2009 年に稼働し始めた際に必要な X 画像検出器が十分共用できなかったこと、および欧州の European XFEL (EuXFEL) において 5 MHz のバーストパルス構造に対応した超高速 X 線画像検出器が必要であるとの理由により近年大規模な研究開発が行われている。投資額でみても、EuXFEL 45 M€, ESRF upgrade 7 M€, 欧州全体の LEAPS (the League of European Accelerator-based Photon Sources) プログラム (2020-2026) で検出器開発プログラムに 90 M€ が投じられる予定となっている。欧州の場合、大きな流れとして、CERN を中心にした素粒子分野の検出器開発の強みを活用し、放射光との連携、もしくは放射光への転換を図っているように見える。一方米国では、防衛・宇宙・素核分野ですでに強い競争力をもつエネルギー省傘下の研究所の連携を志向しているように見える。こうした中で我が国の放射光の競争力を維持・強化していくためには、日本の強み・制約条件に対応した検出器開発の進め方を考える必要がある。

放射光分野における検出器開発の課題の整理として、利用するコミュニティの大きさという軸と開発規模の大小で整理することが提案された (図 1)。開発規模が小さく、広い利用者が想定される研究開発 (図 1 右下) は鋭意研究を推進していただくのがベストであるが、特定利用者が成

果を上げる研究開発についても、個々人の創意工夫が生かされる研究領域が多くあり (図 1 左下)、放射光分野以外との技術交流の場を設けるなどしながら更なる活性化を図るべきと考えられる。

硬 X 線画像検出器等は多くの利用者があるコミュニティツールであり、また開発規模が大きいので放射光施設のリーダーシップが必要である (図 1 右上)。本企画講演では理研が開発している次世代硬 X 線画像検出器 CITIUS について初井が紹介を行った。1-30 keV で利用できる X 線画像検出器で、従来の Pilatus などの計数型検出器に比べ計数率を 100 倍以上向上できるとされた。また、画素内感度不均一性、画素間感度不均一性といった確度の課題も解決しデータ品質の向上が期待できる。アーキテクチャは高速積分型検出器で 17 kframe/s を目標としている。

一方、開発規模が大きい利用者が少ないために開発費の捻出が難しい検出器については放射光分野以外との連携、もしくは国際協調を志向すべきであろう (図 1 左上)。この視点で今回の企画講演では Superconductor Tunnel Junction (STJ) 検出器を産総研志岐先生に、Silicon-On-Insulator (SOI) 検出器を KEK 新井先生にご講演いただいた。もう一つの視点として産業界との連携も重要である。本企画講演では、計測分野の産業界と放射光分野の連携を提案されている NEDO の岡田先生に講演いただいた。

志岐先生の講演では、STJ 検出器の特徴も含め最先端の研究開発を解説いただいた。STJ 検出器は、X 線による温度上昇を測定するカロリメータタイプの特異な超伝導検出器と異なり、X 線によりクーパー対が破れる量をトンネル接合を介して最終的に電流として計測する。クーパー対が移動する距離に制限があることから分厚いセンサを形成することは難しく、適用範囲は軟 X 線 (<2 keV) に限られているが、他のカロリメータ方式に比べ計数率に優れる。一般に製造技術が困難で多素子化が困難であるとされていたが、産総研の先端超伝導素子製造技術により多素子化が可能となり、エネルギー分解能 <10 eV FWHM @400 eV、有感面積 1 mm²、係数率 0.5 M cps が実現されている。SiC 材料中の窒素不純物など蛍光 X 線が重なってしまい計測できなかった系で、蛍光を分離した高感度 XAFS を可能にしていることが示された。

新井先生より高エネ研 (KEK) での 2 層シリコン活性層を持つ Silicon-On-Insulator (SOI) 技術を用いた量子線検出器の開発について講演いただいた。これは、X 線ピクセル検出器としても優れた性能を持ちうる事から、X 線応用や工学研究者を含めた新学術領域研究「3 次元半導体検出器で切り拓く新たな量子イメージングの展開」(平成 25~29 年度) として活動が行われてきた。SOI 検出器は下部のセンサ層、上部の読み出しエレクトロニクス層、それぞれが最適化可能で、ダイナミックレンジの拡大、加速器ビーム構造に合わせたピクセル内情報保存、X 線検

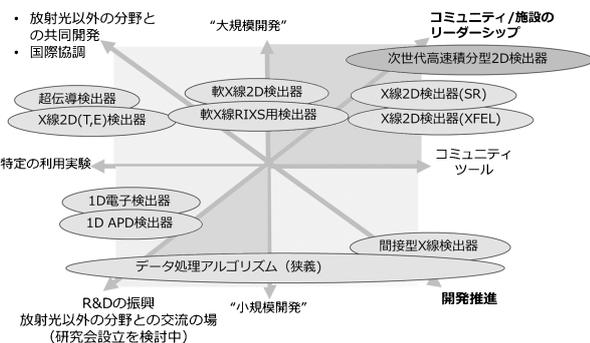


図 1 検出器開発の類型。整理の一助としての開発の規模感と利用するコミュニティの大きさ (開発者と利用者が独立したコミュニティツールの利用形態、特定の利用者のみが利用する形態) でダイアグラムを作成した。なおコミュニティの大きさと科学的重要性は相関がないことに留意する必要がある。すなわち少数の利用者でも非常に重要な利用研究もあるので、全体としてバランスの取れた研究開発が必要と考えられる。

出信号による反同時計測バックグラウンド削減と言った、市販検出器では難しいような測定も可能となる。また開発当初問題のあった、放射線耐性やエネルギー分解能も向上してきていることが報告された。

岡田先生には NEDO の活動を紹介いただいた。NEDO では、計測分析機器が生産、流通、医療、家庭などの現場（計測分析シーン）にも普及していくことを検討している（これを「社会実装」と呼んでいる）。その視点で見ると、検出器は基本的にどの計測分析機器にも存在し、かつ機器の性能を大きく左右する主要部品である。社会実装では小

型化が必要である。光源・光学系といった他の要素に比べた場合、検出器は性能と小型化の両立が期待できる。そこで NEDO では、検出器の高性能化に着目し、そのひとつの方向性として、放射光施設等で検討されている先端的な検出器の技術を産業向けに展開する可能性に注目している。

最後の総合討論では、検出器を取り巻く技術的、予算的、組織的状况について活発な議論が展開された。産業界との連携という視点では、会場から医学分野も検討すべきであるとの指摘もなされたことを付記しておく。