

第三部

3-1 ヒアリング調査で得られた各分野の個人報告書

A：環境・エネルギー分野

B：健康・医療分野

C：材料分野

D：情報通信分野

E：基礎科学分野

F：産業利用分野

ヒアリング調査報告書（A：環境・エネルギー分野）

1. 調査分野： 環境一般（2014年9月19日調査）
2. 調査対象者：秋元 圭吾（公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 主席研究員）

① **社会的・科学的課題**：エネルギーは近代文明の基盤であり、安価に安定に供給されることが大変重要である。一方で、地球温暖化問題との相克が起こってきている。安価に安定なエネルギー供給とともに、いかにCO₂排出量を低減するかのバランスが求められている。気候変動は様々な影響が予想されるが、いまだ不確実性が大きいため、不確実性下での意思決定が必要である。しかし、不確実性は大きいものの、地球温暖化問題に対応するため、長期的には大幅なCO₂排出量の削減が不可避である。その一方で、現状の技術および見通しがある程度たつような技術の進展、コストの低減のみでは、安価に大幅なCO₂排出量の削減することは困難とみられ、技術のイノベーションが求められている。

なお、この技術開発は、エネルギー供給技術に限ったことではなく、社会的な変革を促すような技術を含め、エネルギー利用における様々な省エネ対策のイノベーションも含んで取り組む必要がある。日本政府もこの認識に立ってフォーラムを主催するなど、国内外での技術イノベーションの加速をしようとしている。

② **研究内容**：課題解決のために、以下の2つに取り組むべき研究内容として挙げる。

a) 安価で安定的なエネルギー供給技術の開発:3E + S (Energy security, Economic growth, Environmental conservation, Safety)を満足する持続可能なエネルギーシステムの構築のための技術開発

b) 省エネ以外のコベネフィットをもたらすようなエネルギー利用サイドでのシステム統合技術の開発、普及：温暖化防止のためだけと考えると高コストな省エネ対策を、それ以外のインセンティブを第一の目的として加えることで大きく普及させる技術・仕組みの導入

③ **放射光の貢献**：放射光の専門家ではないため、放射光が貢献できる可能性がある②の例として以下を挙げる。

a) 宇宙太陽光発電からの送受電（高安全性、低エネルギー損失、低コストに）

地上では供給に時間的な揺らぎがあり不安定な太陽光発電を、宇宙空間で行うことでエネルギー損失も少なく、昼夜天気を問わず安定供給を実現できる可能性がある。このための材料開発や送受電技術の研究開発に放射光が貢献できるのではないかと考えている。

b) 自動車等への移動体への電力供給、電力系統と移動体との電力送受電を容易にすることによって、社会全体としてのエネルギー（電力を中心に）の高度の利用を実現

電池技術の電気自動車等への普及により当初想定していなかった利用法や効果がでること、社会全体のエネルギー高効率利用や温暖化対策に繋がる可能性もある。

なお、一般的な技術開発として、直接的にエネルギー・温暖化対策技術であると思っていなかった技術が、技術波及して、大きな効果をもたらすことは多く期待できると考えている。

④ **ビーム性能**：放射光利用の経験がないため、この分野に関する知識は乏しく、この点についてはお答えできません。

⑤ **メリット・デメリット**：一般論として、民間投資は、長期的な技術開発のインセンティブが、社会にとっての適正なレベルを下回る(いわゆる不確実性による「市場の失敗」)ため、国

の関与、支援が必要であり、開かれたものにすることは社会にとって有益と思う。例えば、放射光施設のような基礎分野にも幅広く波及効果が期待できる大型投資の施設については、必ずしも5年、10年というような短期的な応用研究の成果だけにとらわれずに、国がリスクを引き受けることで、予想外の利益・効果に結びつくかもしれない長期的な基礎研究に関しても、広く開放して使うことが重要と考える。

一方で、環境分野に関しては、特に先進国は知財を開放すべきだとの途上国からの圧力も強いので、民間の技術開発意欲を削ぐ結果にもなりかねず、結果として技術開発が後れる可能性もある。企業をはじめ、技術開発主体に、開発投資に見合ったリターンが生じる仕組みにしておかなければ、投資がしにくくなるため、そういった特徴を踏まえた民間が利用しやすい知財保護などの設計も必要である。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（A：環境・エネルギー分野）

1. 調査分野：資源リサイクル（2014年8月21日調査）
2. 調査対象者：中村 崇（東北大学 教授）

① 社会的・科学的課題：地球環境の保全と持続可能な社会の両立のためには、今後、より一層の効率的な資源利用が重要視されると考える。石油等の資源の枯渇が懸念されるため、将来的には各製品で循環使用率が定められ、これまで経済合理性から行われなかった素材のリサイクルも、有機材料、無機材料を問わず進める必要性が生じるだろう。また、素材製造プロセスにおいてはより環境負荷の小さい、安全な素材製造技術が求められていくと考えられる。

② 研究内容：各種素材の経済的なリサイクルの促進、そのための素材の使用法ならびに素材リサイクルプロセスの開発、適正な素材リサイクル率を地球環境の面から適正に評価できるモデル構築、エネルギー多消費型のプロセスで製造される活性金属等の省エネルギー型製造プロセスの開発等が、今後必要となると考える。

③ 放射光の貢献：放射光が貢献できる領域として、以下の3つを挙げる。

- ・リサイクルプロセスでの反応機構解析のための、*in situ* の元素ならびにその反応種の同定：良く知られている反応（例えば、電析した金属の再溶解）や実用化されている現象でも、メカニズムが不明もしくは検証されていない場合が多々あるので、その解明にも放射光の貢献が期待。反応の核生成から粒成長に繋がる過程解明など、学術的に普遍性の高い問題の進展への貢献。

- ・省エネルギー型活性金属製造プロセスを目指したイオン液体等を電解溶媒に利用したプロセス開発が重要となり、その溶媒中のイオン種の構造解析：例えば、Tiの製造における溶媒中では4価からダイレクトに0価になっているとは考えにくく、2価などの中間状態を経ていることが予測される。その観察では放射光の貢献が期待。

- ・機能材料の薄膜化やナノサイズ化に伴う微少領域での高精度の元素分析と形態分析：

放射光が得意とする微小・微量試料における高精度な分析への期待

これらの技術は、触媒や電池での反応と多くの共通点があり他の研究への展開も考えられる。

④ **ビーム性能**：溶液、気体内での反応分布・場所依存性を評価できるサブミクロンから数十ナノ程度の空間分解能。反応系に依存するが、反応を評価するために十分な時間分解能。上記で述べた測定など、固液界面および固気界面の反応解析が行えるスペックが望まれる。

⑤ **メリット・デメリット**：現状でも時々ではあるがSPring-8などの放射光施設を使用することがあり、もし、容易に使用できる放射光施設が整備されれば、研究への貢献度は高い。また、熔融状態を高速測定できるなどの**Only one**の得意分野を持つ専用ビームラインがあれば、これを手段として国際共同研究などは大きく前進する。

⑥ **その他**：プロジェクト研究などに対応できる使用および申込方法を取って欲しい。測定データの解析および解釈を補助するサポート体制を考えて欲しい。環境分野において、世界的に放射光の利用が拡大し、一般的な研究ツールになりつつある。よりハイレベルの測定および解析が望まれる。

以上

ヒアリング調査個人報告書（A：環境・エネルギー分野）

1. 調査分野： 地圏環境・除染（2014年8月29日調査）
2. 調査対象者：矢板 毅（独立行政法人 日本原子力研究開発機構 ユニット長）

① **社会的・科学的課題**：環境・エネルギー分野（原子力発電分野）での社会的・科学的課題

福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、原子炉の廃炉・汚染水処理問題、福島環境回復の問題では、土壌廃棄物の減容化など、短～中期的な視点から、重元素科学、物質材料科学分野での技術革新を踏まえた課題解決が必要である。具体例を以下に挙げる：

- ・廃炉に向けて、炉へのアクセスを可能とする除染技術の選択と開発。
- ・放射性廃棄物の分離・核変換技術の開発：10万年ともいわれる放射性廃棄物監視年月を百年オーダーに短縮化し、持続的かつ安全な管理を実現するための技術、また毒性の強いマイナーアクチノイドや資源として利用可能な白金族元素の分離・回収技術
- ・既存の原子力発電所の安全性の向上のための材料開発、電源喪失時を想定した蓄電技術開発、水素再結合触媒の開発
- ・福島環境回復問題：30年の中間貯蔵後の最終処分に向けて、土壌廃棄物等のクリアランスレベルまでの除染・減容化

世界的な当該分野での現状：原子力分野での放射光の利用は、スタンダードになりつつありESRF、APSなどの大型放射光施設での放射性物質取扱施設の運用、SOLEIL、ANKA、SLS、ALS、Diamondなど欧米の中型放射光施設を中心に原子炉構造材の研究、ウラン、プルトニウム燃料、抽出分離剤開発、地層処分に関連した研究開発に利用されている。

また原子力発電所の老朽化に伴う廃炉が始まることを踏まえて、海外では長期的視野に立った廃炉に関する要素技術開発が始まっており、この分野における放射光利用が進んでいる。

我が国は福島の実験を踏まえ、この廃炉に関する技術開発において様々な新しい知見を得ることができる可能性がある。すなわち、放射光分析に基づく物質材料科学における基礎的知識の蓄積は、廃炉ビジネスにおける日本の優位性をさらに高める可能性がある。

② **研究内容**：廃炉および放射性廃棄物処理に関する研究として、主な例を以下に挙げる：

- ・ 溶融燃料取り出しに向けた模擬燃料デブリのウラン等核分裂性核種の状態分析
- ・ 原子炉構造材とセシウムなど核分裂生成物との吸着状態の解明
- ・ 粘土鉱物へのセシウム吸脱着機構解明と減容化技術の最適化
- ・ マイナーアクチノイドの分離抽出剤の分子設計研究および二次廃棄物を生み出さないセシウム等選択的吸着材の開発
- ・ 地層処分のための人工バリア研究
- ・ ガラス固化体、人工バリアなどの放射線照射効果理解のための放射光分析他

③ **放射光の貢献**：材料の性状解明においては、電子状態と構造に関する基礎的なデータに加え、構成する元素の化学状態、これらの空間的な分布、反応あるいは放射性壊変に伴う時間変化などの分析を行うためには放射光利用分析が必要である。特にμフォーカスあるいはコヒーレントを利用した局所的分析、またそれをインテグレートした知見が不可欠。実験には、安定元素で代用することも可能であるが、アクチノイドのような取扱の制約の大きい放射性核種を含む試料は、安全性を十分考慮して微量サンプルの利用が考えられるので、高輝度放射光源の利用は大変重要である。すなわち少ないボリュームの実験で大きなインパクトをもたらす研究の実施が可能である。

④ **ビーム性能**：課題解決のための放射光施設のスペックとして以下を挙げる。

利用したい測定法：STXM、SX-XAS/XES、XPS、XRD、XMCD、EXAFS/XANES など

光学系：回折格子分光器、ミラー集光（nm）、二結晶分光器

エネルギー範囲：0.03 keV - 1 keV、3 keV - 40 keV

エネルギー分解能： $\sim 10^{-4}$

ビームサイズ： < 100 nm

集光位置でのフォトン数： $\sim 10^{13}$

エンドステーションの特殊スペック：微量核燃料物質（U、Pu など）および放射性物質（Np-237、Am-241、243、Cm-248、Cs-137 など）が取扱可能な実験施設である事。

⑤ **メリット・デメリット**：（メリット）福島原発廃炉、環境回復に向けた安全な処理技術の開発、問題解決の加速、廃炉、元素戦略的視点でのリサイクル技術の国際競争力の強化、未解決の問題が多いアクチノイドなど重元素科学分野での理論体系の構築、福島に近いという地理的な条件と放射性物質を扱える放射光の利用が可能な最先端の国際的な研究拠点の構築、今後人材が必要な原子力分野での人材育成などが可能となる。（デメリット）我が国における放射性物質を利用した放射光利用がストップし、海外の研究レベルから大きく後れをとる。核関連物質取扱に関する基礎的研究の停滞。福島原発の廃炉問題、環境回復問題における高度化研究の停滞。

⑥ **その他**：放射性廃棄物の処分問題は、原子力の推進の是非にかかわらず取り組まなければならない課題であり、福島の廃炉問題も含めて必ず取り組まなければならない。従って、長期的視点での人材の供給がまさに必要な分野である。しかしながら、昨今の当該分野においては負のイメージの強く、この分野を志す研究者や学生の数が増減傾向にある。そこで、研

究としての理解を広めること、さらには興味を持てる研究である事をアピールする必要がある。放射光を利用した研究開発は、基礎的な視点で知的好奇心を満たす形で原子力科学分野の研究に取り組むことが可能で、人材育成の観点でも大変重要なツールであると思われる。本放射光施設を、次世代へ技術および人材を繋げていく核とできるよう整備されることを望む。

以上

ヒアリング調査個人報告書（A：環境・エネルギー分野）

1. 調査分野：蓄電池（2014年8月29日調査）
2. 調査対象者：内本 喜晴（京都大学大学院 教授）

① **社会的・科学的課題**：蓄電池における中・長期的な課題は、大型蓄電池の技術開発である。経産省のロードマップでは移動体用二次電池は2030年にエネルギー密度500 Wh/kgという高い目標値があるが、これはLiイオン二次電池では達成できない。このため、多価イオン電池や空気電池、全固体電池などによる高エネルギー密度の新規な電池技術の確立が必須となる。もう一方で、大規模な再生エネルギーの蓄電や、系統連携に向けた定置用大型蓄電池があり、小型化の必要性は低いが、長寿命、低コスト化が大きな課題であり、候補として移動体用に検討されているものに加えて、フロー電池などが考えられている。また、燃料電池の普及も重要な課題である。

電気化学エネルギー変換にかかわる中長期的な課題を以下にまとめる。

- ・移動体用（車載用）：蓄電池の高エネルギー密度化や固体高分子形燃料電池(PEFC)の低コスト化によるプラグインハイブリッド自動車、燃料電池自動車の普及
- ・再生可能エネルギーの利用：定置用大型蓄電池の実用化、エネルギーキャリアによる水素社会の実現

② **研究内容**：①で述べた電気化学システムの研究開発について、以下に具体的研究内容を挙げる。

- ・高エネルギー密度ポストリチウム二次電池開発：多価イオン電池、空気電池等
- ・高寿命・安価な定置用二次電池開発：水系電池
- ・PEFC用低白金カソード開発：燃料電池自動車用として重要。特にコスト削減のためPt量を減らしながらカソード過電圧を低減する技術が必要
- ・エネルギーキャリアによる水素社会の実現：再生可能エネルギーの最適地で変換したエネルギーを、アンモニア、有機ハイドライドシステムなどの化学エネルギーに変換して消費地に輸送する水素エネルギー社会実現のための技術開発。

水電解技術：小規模の再生可能エネルギーの貯蔵、大規模なアルカリ水電解。

③ **放射光の貢献**：

- ・二次電池、燃料電池の作動状態での電極あるいは電極触媒の反応機構説明：
硬X線によるoperando測定による触媒・反応機構解析。
- ・デバイスの最適化のための回折測定による反応分布評価：

高エネルギー硬X線による回折測定による反応分布評価。特に空間分解能、時間分解能が高いことを利用して、電気化学デバイスのoperando評価。

- ・電池デバイス内における不均一挙動の解明

実際の電池では、反応が空間・時間的に完全に均一に起こることはなく、実デバイスではこの不均一性に由来した性能劣化が生じる可能性がある。この不均一挙動の解明のため、二次元分布測定、時間分解測定などを行い、信頼性向上などのシステム最適化に繋げる。

④ **ビーム性能**：各測定において最高水準の測定を行うには、以下のように用途毎に特徴あるビームライン構成とすることが望ましい。

- ・高エネルギー硬 X 線専用ライン：硬 X 線の高エネルギーに特化し (>50 keV)、回折測定によるデバイス・システムの不均一性の計測に利用

- ・低エネルギー硬 X 線(10 keV 程度)専用ライン：遷移金属の吸収端に合わせた領域で最高性能をもつビームライン：触媒、活物質等に使われる遷移金属の X 線吸収測定による材料の局所構造、電子構造の評価

- ・軟 X 線専用ライン：マテリアルの評価に利用し、3d 遷移金属の L 端測定、アニオンの K 端測定による電子構造解析に利用

なお、operando 測定では高輝度光源が必要となる。時間分解能は対象とする現象により異なるが、デバイス・システムを見るのであれば秒単位でも十分な場合があり、拡散にかかわる現象ならミリ秒単位、触媒上での反応ではさらに高い時間分解能が必要となる、このため用途に合わせた設計を行う必要がある。

⑤ **メリット・デメリット**：上述の放射光施設が整備されることで、電池分野における我が国の科学技術力の強化、および産業競争力の向上に繋がることは疑いがない。運用形態について、科学の発展のためということであれば、もちろん施設をオープンに共用化することが望ましい。しかし、産業分野、特に電池分野への応用という立場で考えると、世界中での激しい技術開発競争がなされている中、技術的な優位性を維持するためには、最先端デバイスの測定を非公開の条件で行う必要がある。真の産業競争力強化を目指すならば、非公開を前提とした企業の利用の際に、マシンタイムの割当てや、ビームライン自体の評価などをどのように行うかの基準設定を事前に産業界も交えてしっかりと行い、サポート体制等も含め、企業ユーザーが使いやすい体制を整備する必要がある。

⑥ **その他**：特になし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（A：環境・エネルギー分野）

1. 調査分野：燃料電池（2014年8月29日調査）

2. 調査対象者：稲垣 亨（関西電力株式会社 チーフリサーチャー）

① **社会的・科学的課題**：環境・エネルギー分野における課題として、再生可能エネルギー利用拡大、エネルギーの多様化・高効率利用という観点から特に以下を挙げる。

- ・エネルギー貯蔵用二次電池：電力の安定供給のために、需要と供給のバランスをとり、周

波数調整、負荷平準化、出力平滑化や非常用電源による電力系統の安定化等が実現できると期待される。しかし、高容量化、安全性向上、耐久性向上などの点でさらなる改善が必要であり、材料からシステムまで広範な検討が行われている。

・高効率発電システム：燃料電池は化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換できる電気化学デバイスであり、特に、固体酸化物形燃料電池（SOFC）は、化石燃料を内部改質して高効率発電が可能のため、化石燃料の使用量削減や CO₂ 発生量低減につながると期待される。現在、SOFC が抱える技術課題の主なものとしては耐久性の向上が挙げられるが、ここでもシステムでの実証試験に加えて、材料面からも種々の検討が行われている。

・固体酸化物形電解セル（SOEC）：脱化石燃料という点においては、再生可能エネルギーによって発電した電気を用いて水を電気分解して水素を生産するために、SOFC の逆反応を用いる SOEC を用いることも検討されている。このようなデバイスの開発によって、水素を容易に入手・使用できる社会が実現すれば、すでに家庭用コジェネレーションシステムとして商品化されている固体高分子形燃料電池（PEFC）の高効率発電システムとしての魅力もさらに増すと考えられる。

② **研究内容**：①で述べたエネルギー貯蔵用二次電池とSOFC（およびSOEC）について、以下に詳しく挙げる。

・エネルギー貯蔵用二次電池

- a) 充放電サイクルに伴うリチウムイオン電池正極の構造変化
- b) 非平衡状態の電極構造解析
- c) 電極合剤の反応分布解析
- d) 電極／電解質界面に形成した皮膜の分析
- e) 全固体電池における各固体材料間における界面副反応の解析
- f) 金属－空気電池の空気極の結晶構造変化の把握

・SOFC（および SOEC）

- g) SOFC の運転条件による電極の構造変化と熱応力の関係把握
- h) ドーパント種による SOFC 電解質の導電率への影響把握
- i) SOEC の電解時による電極および電極／電解質界面における応力測定

③ **放射光の貢献**：放射光を用いた測定項目としては、以下のものが挙げられる。

- ・XAFS（XANES）による、遷移金属の価数変化
- ・XRD による結晶構造解析：二次電池の充放電に伴う詳細な結晶構造の変化
- ・硬 X 線光電子分光（HAXPES）による劣化前後の電極分析（SEI 層の影響を受けずに電極の化学状態分析を行う）
- ・X 線応力測定法による SOFC（および SOEC）の電解質、電極の応力測定。

④ **ビーム性能**：

- ・セル部材の構造変化を調べるために、二次電池の充放電や燃料電池の発電など電気化学測定を行いながら、in situ で XAFS や XRD 測定が可能な機能を具備した共用の装置・治具が必要。また、温度、ガス雰囲気、ガス流通条件の制御も可能であれば、より実際の使用時の挙動解析に近づく。
- ・HAXPES：大気圧に近い低真空下測定が可能な装置を具備。これにより、実試料の測定が可能となる。

- ・ 酸素の分析を可能とする軟 X 線 XANES。この場合、大気に触れないで試料の調整と測定が行えるような治具・装置の具備が必要。
- ・ 電池内部での Li 金属／イオンの状態分析（結晶中の量や位置など）を界面で評価するための手法開発。

⑤ メリット・デメリット：放射光施設が整備されれば、材料の挙動に関する高度な分析が可能となる。特に、二次電池や燃料電池の実試料を用いて、波長可変で高輝度という放射光の強みを生かした測定をin situで行うことが可能となれば、その知見を製造に活用することが期待でき、より有用なものとなる。

⑥ その他：企業などの技術者・研究者が放射光を利用する際に、高い敷居があるため、事前の相談や、測定時のビームラインでのサポートなどを充実して欲しい。また、その際に最先端の技術開発を可能にするために、NDAなどを結んでの情報の取扱いの枠組みの整備もされたい。

放射光のワークショップ等を通しての企業と国内外の研究者との交流を深め、放射光施設を、企業の若い技術者が新たな課題にチャレンジする場所にすることで、人材育成・人的ネットワーク構築の場としても機能することを希望する。

以上

ヒアリング調査個人報告書（A：環境・エネルギー分野）

1. 調査分野： 太陽電池（2014年8月29日調査）
2. 調査対象者： 大下 祥雄（豊田工業大学 教授）

① 社会的・科学的課題：化石燃料の枯渇や地球温暖化の問題、さらにはウランの枯渇も視野にいたれた技術開発の重要性が今後さらに重要となる。特に、欧米では、それら技術が環境という観点のみではなく、産業において近い将来大きな役割を担うことを期待している。

一方、自然エネルギーに関しては、多くの課題が存在する。その一つが、コストである。エネルギー変換効率の向上がコストの観点から必要不可欠な課題である。加えて、再生エネルギーを基幹エネルギーとして使用するためには、供給安定性の改善が必要である。この課題に関し、電力システムの制御による問題解決の取組がなされているが、対応できる容量には限界がある。それ故、需給平準化のためのエネルギーストレージ技術として、大型二次電池に加え、水素製造・貯蔵などのエネルギーキャリアに関連した技術のさらなる発展が期待される。

② 研究内容：具体的な研究内容に関しては、以下に挙げる：

1) 太陽電池の高効率化

現在、シリコン結晶を用いることにより25%を超える変換効率、化合物の集光システムで40%を超える変換効率を得られている。これらの値をさらに高くするには（低いコストで）、現在のデバイス・材料のより深い理解、加えて新たな材料およびデバイス構造の提案が必要不可欠である。

2) 二次電池の大容量化

現在よりも低コスト、安全、高エネルギー密度な電池が実現されれば、太陽光や風力による発電における余剰電力をそれらに蓄積しておき、夜間などに使用することが広く可能となる。

3) 水素エネルギーの活用

光触媒による水の分解に加え、太陽電池や風力で得た電気エネルギーによる水の電気分解により得られる水素の利用も今後重要であると考え。特に、得られた水素の保管方法として、水素を分子中に保持し、かつ取り出しも容易な物質など、従来と異なる方法の実現が望まれる。

③ 放射光の貢献：バルクや界面における構造、電子状態などの高い空間分解能での解析評価に加え、強度が強いことを利用したその場観察などにより、材料・デバイス評価における放射光の有効性が発揮できると期待される。

④ ビーム性能：波長などのスペック等に関しては、対象とする材料により変わるため、ここでは特定の議論をすることができない。ただし、長時間での測定などが考えられるため、トップアップ運転してもらえるとユーザーとしてはありがたい。また、空間分解能についてはサブミクロン程度は必要である。加えて、他の放射光施設との差別化を図る上でも、その場観察が可能な装置（プラズマ処理が可能、膜堆積が可能など）の使用が可能なシステムを期待する。

⑤ メリット・デメリット：すでにSPring-8などの大型の放射光施設がある一方で、そこではできない実験が可能な施設、あるいはアクセスが容易な施設が各地域に存在することは、科学技術の発展ならびに人材の育成には有効である。さらには、関連する評価技術の一つの中心として、産業技術の発展に寄与できれば、その地域における産業育成に対しても大きな貢献が期待される。産業を活性化させるには、放射光に関連する研究者が大きなイニシアチブをとり、新規ユーザーを掘り起こし、設備のユーザビリティの向上などに努める必要がある。これらを通じて、産官学の交流の活性化、ならびに官学の関係者の視野の広がりを目指す。

成果発表の仕方については、秘密保持や開発者利益の確保などを踏まえた上で、企業との関係をどのように築いていくか明確にしたルール作り、体制整備が重要であろう。

⑥ その他：俯瞰的なアドバイスなどができるコーディネーターを施設に配置・育成することで、研究体制などが必ずしも整っていない中堅以下の企業へ、研究者側から積極的にアプローチし、未発見の課題発掘や問題解決に繋げ、技術開発を下支えすることが、国内の産業競争力を維持するためには必要と考える。

以上

ヒアリング調査個人報告書（A：環境・エネルギー分野）

1. 調査分野：人工光合成（2014年8月28日調査）
2. 調査対象者：井上 晴夫（首都大学東京大学院 特任教授）

① 社会的・科学的課題：人工光合成に関連した領域は、約40年前のホンダーフジシマ（本多-藤嶋）効果の発見以来、我が国が世界をリードしている分野であるが、現在は、米・欧・中

の追い上げもあり、1) 地球温暖化に関連した二酸化炭素排出の削減、2) 化石資源に依存することのない自然再生可能エネルギーシステムの開発、という課題の解決を目指して、世界中の研究者が研究開発にしのぎを削っている。このような情勢の中、基盤技術の橋頭堡を築くためにも、今一度、基礎科学に立脚した研究開発を推し進めていくことが重要である。

② **研究内容**：①の課題を解決するために取り組むべき内容を以下に述べる。

1) 人工光合成研究：太陽光から燃料をつくる。すなわち、太陽光を利用し、水を原料として水素の生成や二酸化炭素の還元固定、窒素の還元固定により炭化水素、アルコール類やアンモニア等のエネルギー蓄積型反応系の開発および実現を目指す。

2) 太陽光発電の研究：太陽光から電気エネルギーをつくる。

3) 自然界の光合成の理解を深め、それを超える技術を確立。

これらの課題にあたり、PV材料の開発、および多電子反応を実現する触媒技術の開発が欠かせない。

③ **放射光の貢献**：②の課題の研究を進めるにあたり、放射光が貢献できる内容を以下に挙げる。

1) 半導体などの光触媒の初期過程など時間分解測定について通常の分光測定では得られない情報として原子価の変化（XANES測定）、注目元素の周辺の配位構造の変化（EXAFS）などの時間分解測定。

2) 金属錯体など分子触媒反応などの反応機構解明。1) と同様に通常の分光測定では得られない原子価や配位環境に関する時間分解測定。

3) 自然界の光合成反応中心触媒の結晶構造解析により反応系の構造と機能を理解することで、自然を模倣し、さらにはそれを超えるような人工光合成触媒の開発に繋げる：例、光化学系II(PSII)の結晶作製および構造解析

④ **ビーム性能**：直接の測定経験がないため、放射光施設の具体的スペックなどは良く分からないが、③で述べた時間分解測定については、X線パルスは高強度で、かつできるだけ短く、可能ならば数100フェムト秒程度が望まれる。これにより少量試料で、高精度な測定が可能になる。

また、一般論として、放射光技術の開発にあたっては、開発した技術で測れるものを測定するのでなく、ユーザーが測りたいものを測れる技術を開発することを希望する。

⑤ **メリット・デメリット**：既存施設と異なる地域に放射光施設が整備・共用された場合には、ユーザーアクセスの向上、および全国の他の放射光施設において、既存ユーザー、潜在ユーザーへのマシンタイム割り当てのゆとりが出ることが大いに期待されるので、我が国全体の研究に大きい波及効果を及ぼす。

⑥ **その他**：特になし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（A：環境・エネルギー分野）

1. 調査分野： エネルギー安全（2014年8月25日調査）

2. 調査対象者：庄子 哲雄（東北大学 教授）

① **社会的・科学的課題**：今後世界の国々が、成熟した持続可能な社会を実現するにあたり、環境・エネルギー分野で想定される課題としては、高度な技術を駆使し、

・従来より一段上の高機能・高効率・高信頼性・耐久性、あるいはこれまでにない全く新しい機能を発現する新規材料やデバイスの創成

・現存するインフラや設備において起きうる経年変化現象を把握し、科学的な知見に基づく予測とプロアクティブな対策を講じること

そして、長期的な信頼性の確保、可能な限り「想定外」を排除した安全・安心技術の確立を成し遂げていくこと、であろう。

特に、多くのエネルギー変換・貯蔵技術においては、劣化、破壊に繋がる不可逆な経年変化のメカニズムを、学術的な実験に基づいて科学的に理解し、効率的で安全な運転方法や適切なメンテナンス、そしてより信頼性の高い新規材用の開発などに繋げていくことが、地味で潜在的な需要であるが絶対に不可欠な技術としてますます求められていくものと思われる。

② **研究内容**：前項で最初に挙げた新しい機能をもつ材料やデバイスの創成に関する研究課題は分野ごとに多岐にわたる。しかし、全ての研究者、開発者にとって共通のキーとなるのは、より広範な空間的スケールと時間的スケールと材料範囲をカバーする最新の測定技術のネットであろう。これから求めるべきは最先端の測定技術の利用範囲を拡張、多様な研究課題について柔軟かつ比較的手軽に対応できる安定した測定技術にまとめあげることと考える。

一方、プロアクティブな信頼性・安全性確保技術の確立には、構造材料、機能材料における経年変化を実験室ベースで再現し、その要因を切り分けつつメカニズムの総合的な理解に繋げていくことが不可欠である。そのために実現が期待される実験技術要素としては、おおよそ以下のようなものがあると思われる。

- 1) 実機を模擬した環境下での *in situ* 計測技術（高温あるいは低温、高圧、高応力、腐食環境下などの媒質中の測定）
- 2) 母材に比して微量な成分の同定とその空間分布の確定
- 3) 材料内深部や埋もれた界面などを局所的かつ選択的に測定する技術
- 4) ミクロンサイズの分解能での 2D/3D イメージング技術
- 5) 非破壊評価

あるいはこれらを組み合わせて測定できる技術の確立が望まれる。

③ **放射光の貢献**：広範囲の空間的スケールをカバーするには、高精度の直進性の高い強い光が赤外からX線領域まで広範囲で利用できる放射光は利用価値が高い。また、放射光の波長の可変性は赤外分光からX線蛍光測定やX線回折など様々な測定の組み合わせを可能にする。

また、材料の内部構造の測定において、高い時間分解能を実現するためには、単位時間あたりに利用できる *photon* 数の多い放射光の利用は不可欠であろう。実機を模擬した環境下での *in situ* 計測や材料内深部や埋もれた界面などを局所的かつ選択的に測定する際には、測定領域までプローブが到達することが必要になるが透化能と空間分解能が高い放射光 X 線を用いれば実現する可能性が高い。

3D イメージングに関しては、位相差を用いた X 線 CT など最近の技術の進歩は著しく、X 線回折との組み合わせなど他の測定との組み合わせたマルチパラメータの 3D イメージングの確立にも期待が持たれる。放射光が次世代の多様な技術に貢献するポテンシャルは高い。

④ ビーム性能：

波長、輝度、ビームサイズ

上述の測定を行うためには、波長範囲は広ければ広いほど、輝度は高ければ高いほど、ビームサイズはサブミクロンから数センチまでであるに超したことは無い。しかし、費用等を勘案した現実的な範囲で波長を考えると、15 keV - 20 keV が最低限、できればなんとか 30 keV over までは確保したい。また、既存の PF と SPring-8 の波長領域と一部だぶらせつつ、より洗練された使い勝手のよいビームとすることが望ましい。輝度については SPring-8 程度の輝度があることがより望ましい。現時点から 10 年後の範囲では、トップアップ運転などによる強度の安定したビームの需要が多いのでないかと思われる。ビームサイズについては、サブミクロンから 2 mm の間をカバーできることが望ましい。

ビームライン

多少の重複には目をつぶり、一つのビームラインに複数種類の検出器や回折計を備え付け、様々な測定を組み合わせた実験を少ない労力で実現可能な「柔軟で使い勝手の良い」ことを最重要視したビームラインとすることを強く望む。さまざま測定装置を初めから常設して手間をかけずに簡単に切り替える即応性、多様なサイズ、材質に即座に対応できる柔軟性の両立を追求することが、初心者を含む幅広いユーザーを対象とする次世代の放射光施設には必要と考える。

エンドステーション

挿入光源を用いた X 線回折実験用ハッチのうち、産業用の多結晶材料や粉末材料を念頭においたビームラインでは、応力測定や薄膜測定に便利な通常の 4 軸回折計に加えて、in situ 実験用のオートクレーブや引っ張り試験機、溶接用装置など重量の大きな付加装置の搭載に備えて、耐荷重 150 kg 程度の水平振り 2 軸回折計を別途用意されていることが望まれる。付加装置の据え付けや移動も少人数でこなせるように工夫されている必要がある。

単結晶用 X 線回折実験用ハッチにおいては、角度精度や強度検出精度に優れているが測定にとにかく時間のかかる 4 軸回折計と角度精度には劣るものの複数の反射を同時測定できるため測定効率が高い IP/(CCD)振動写真 X 線回折計が 2 大潮流であるが、工夫を加えて 1 台の回折計で両立する。ボタン一つで切り替えられることを前提に設計すれば測定効率は大幅にアップするはずである。

様々な in situ 実験の潜在的な要望に応えるには、ある程度のものは、ビームライン側であらかじめ in situ 実験用の付加装置を開発し準備しておければ、利用者の裾野を拓ける一助となると考える。

運用システム

国内の放射光施設としては種々の困難はあると思われるが、なんとか年間 4000 時間以上の運転を確保するか、あるいはビームラインの総数を増やす、セッティングにかかる時間を短縮するなどしてユーザービームタイムを増やすことを望む。また、よほど手慣れた実験課題でない限り、一発で決定版のデータを出すことは、本来は難しい。時間をあけて 2、3 回実験することを利用形態の基本とすることはできないだろうか？

⑤ メリット・デメリット：放射光施設は、小規模な実験室の装置では到達することが不可能な様々な実験課題をこなすことが可能である。その能力がこれまで利用者が少なかった領域も含め、多くの分野で広く活用されれば、科学技術、産業の活性化に繋がると考えられる。

我が国が他の先進国に先駆けてそのような体制を放射光利用の分野において充実させていけば、次世代の発展をリードできるだけでなく、国際的な研究需要にも広く応えることになると思われる。多くの研究者が放射光施設の力に触れることは、新しい研究手段を身につけた優れた人材を育成することにも繋がる。

逆に、この分野での先端技術利用が促進されず、将来的に他国に後れをとるようなことになれば、我が国では調べることのできない科学的な知識を他国の者がどんどん先に入手することになり、やがては致命的な差となることも懸念される。その上、我が国の研究開発が他国の施設への依存を強めるということにもなりかねない。

⑥ **その他**：放射光ユーザーでなかった研究者、技術者が研究課題を遂行するために、彼らを強力にサポートし、測定や解析の知恵をだすビームラインサイエンティストの体制の充実がこれまで以上に不可欠と考える。また、ビームラインサイエンティストが腰を据えてユーザーと研究を進めるための環境整備にも配慮して欲しい。

以上

Report of survey for needs of a new synchrotron radiation facility in Japan (A: Field of environment and energy)

1. Survey field: Oversea trend (Aug. 27, 2014)
2. Person: Junko Yano (Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, Research associate)

(1) The important social and/or scientific problems to be solved in the next 5-10 years in the scientific field of environment and energy

The rising demand for energy and the environmental damage caused by the use of fossil fuels have highlighted the need for alternative energy sources. This motivates research and development for shifting from fossil fuels to cleaner renewable sources. This is one of the most important scientific challenges presently and surely for the next few decades. There are efforts all over the world related to the development of renewable, non-polluting solar based fuels. Thus research efforts in this direction are critically important for the future well-being of society at large as we go into the latter half of the 21st century.

(2) Research subjects which have to be carried out to solve the problems given in question (1)

- Artificial Photosynthetic Devices – How to make liquid fuels using sunlight and water? In particular, how to use CO₂ to make carbon-based fuels is currently the most challenging project, in addition to the development of efficient catalysts for water-oxidation.
- Battery and Fuel Cell research.
- Efficient catalysts in various fields by understanding the fundamental mechanisms of existing catalysts and the design of new catalysts with the use of both combinatorial chemistry as well as more directed research.

(3) Contribution of synchrotron radiation sources to solve the subjects listed in question (2)

Synchrotron experiments are essential because of these advantages:

- (1) Element specificity – it is difficult to get element-specific information from many of other methods.
- (2) In situ and operando experiments for electrocatalysts and photocatalysts.
- (3) Obtaining structural information from non-crystalline samples.
- (4) Study of surfaces and interfaces.

(4) Performances necessary for the SR source to solve the subjects listed above

- Beam specs: Beamsizes suitable for bulk samples (for fast access) as well as micron-sized focused beam (for grazing angle, mapping, etc.). Diffraction-limited beamsizes would be appropriated for imaging requirements.
- It requires insertion device beamlines.
- Si(111), (220), and (311), and multilayers for pink beam.
- Both soft and hard X-rays. Hard X-rays to cover at least from 2.1 keV (P) up to 30 keV (> Sb).
- Hard X-ray beamlines with enough hutch space that gives flexibility to do emission signal detection using high resolution spectrometers (like Roland geometry, or von Hamos geometry), and low temperature data collection (cryostat) with liquid He handling facilities.
- 2D detectors, CCD detectors, energy resolving detectors.
- Time-resolution, rapid scanning facilities.
- Capabilities for multiple methods – X-ray spectroscopy/diffraction along with optical/IR.
- No beamtime use fee for academic research.
- Top-off mode.

(5) The merit if the synchrotron radiation facility specified in question (4) is prepared and the demerit if it is not prepared

There are two points – (1) fast access to the traditional X-ray based methods that will be sufficient for many of the industry-based characterizations, and (2) more advanced X-ray based techniques for directed basic science research. While the use of synchrotron facilities become very common, the center of gravity is shifting to more sophisticated methods to characterize the detailed electronic structures and spin states. The above-mentioned capabilities are important to conduct research in a competitive environment.

(6) Others

International collaborations and exchange programs between Japan and US and other countries will be very beneficial for the advance of synchrotron-based research directed towards the energy and environmental sciences. Such programs exist between the US and many European countries, India and China. The strong industry-based research in Japan in combination with academic research in Japan and the US using synchrotron radiation would be especially beneficial for the development of artificial photosynthetic devices, batteries, and fuel cells.

ヒアリング調査報告書（B：健康・医療分野）

1. 調査分野：創薬（2014年9月5日調査）

2. 調査対象者：曾我部 智（武田薬品工業株式会社 主任研究員）

① **社会的・科学的課題**：健康・医療分野における科学的重要課題として、以下の三つが挙げられる。

1) 種々の疾病メカニズムの解明と新たなバイオマーカーの探索。その結果として、より効果的な薬剤投与体制の構築。

2) 低分子や抗体とは異なる新たな医薬品（核酸、脂質などを含む）と治療法の開発。その波及効果として、希少疾患にも対応した治療開発。

3) ワクチン供給などの感染症対策や再生医療における今後さらなる発展。

② **研究内容**：上記課題解決のため、特に以下の二つの研究が重要と考えられる。

1) 疾病の原因タンパク質の同定およびその原子・分子レベルでの作用機序の解明。

2) 遺伝子レベルやタンパク質レベルのマーカー探索と診断技術の開発。

③ **放射光の貢献**：いずれの研究においても、放射光施設は有用である。従来の結晶構造解析による分子レベルでの機能発現制御機構の解析と溶液散乱による超分子複合体の構造解析は今後も活発に行われるであろう。将来的にはイメージング技術の向上によって細胞膜などより生体に近い形での構造解析によって、種々の膜タンパク質（受容体、トランスポーター、免疫関連細胞膜表層タンパク質など）がかかわる疾患メカニズムの理解につなげる必要がある。また創薬研究において、薬物の体内動態と診断技術の開発は、臨床研究との橋渡しとして今後さらに重要性が増していくものと思われる。実際、放射光 X 線蛍光分析法により、PET と同レベルの感度で重元素を含む分子の体内トレースが可能と聞いている。また診断技術についても、放射光単色 X 線と最先端の造影システムを用いることで、体内組織の超高解像度イメージングが可能になりつつある。

④ **ビーム性能**：構造解析の用途では海外の放射光施設（SLS や ALS など）のような汎用性の高いビームラインの需要は継続して高いと考えられる。現在は結晶を海外の放射光施設に送り、委託測定で回折データを収集する機会も多い。ユーザーの立場から、今後国内企業による日本の放射光施設利用を促進するためには、海外施設と同等の利用環境の整備が必要である。特に、放射光施設の休止期間や使用料は SLS や Diamond の水準であることが望ましい。また、国内の放射光施設ではそれぞれの特色を生かした整備が必要であり、例えば高輝度軟 X 線による特定元素分析や X 線蛍光分析による薬物動態（いわゆる DDS）解析などに特化したビームラインの価値が高いと思われる。

⑤ **メリット・デメリット**：構造解析の点では、国内企業の海外放射光施設の産業利用が一定の割合であるが、今後、国内の放射光施設利用を促進するためには、同等の利用環境の整備が必要であると思われる。ただし、国内の放射光施設ではそれぞれの特色を生かした整備が必要である。

⑥ **その他**：なし。

以上

ヒアリング調査報告書（B：健康・医療分野）

1. 調査分野：幹細胞・再生医療（2014年9月1日調査）
2. 調査対象者：須田 年生（慶応義塾大学 教授）

① **社会的・科学的課題**：高齢化が急速に進む現代社会において、健康医療分野において以下の4つが重要な科学的課題として挙げられる。

1. 微小癌の検出、癌転移の機構〔約半数が癌で死亡〕
2. 精神活動・情動・記憶の分子論的解析〔うつ病、精神分裂病、認知症の克服〕
3. 細胞老化、個体の老化の機構〔高齢化社会において重要〕
4. 組織幹細胞の動態

② **研究内容**：微小癌の検出は、早期診断のみならず癌転移機構の解明や最善の治療選択の上で極めて重要である。また精神活動・記憶・神経変性疾患等を引き起こす原因遺伝子（タンパク質）が同定されつつある昨今において、今後も構造生物学的研究は重要となるであろう。一方、老化に関する研究では糖・脂質などの代謝産物の網羅的解析（メタボローム解析）や各組織（局所部）における水分子の存在率の定量的解析が重要と思われる。さらに幹細胞研究においては、幹細胞の体内導入から動員（モビライゼーション）・定着（ホーミング）に至るプロセスの動態を高解像度にリアルタイムに解析できれば、医学的に極めて重要な知見を与える。

③ **放射光の貢献**：これら課題に対し、次世代放射光が多いに役立つことを期待したい。例えば、放射光単色 X 線と最新の造影システムを用い、微小癌を高感度に検出することは最優先課題であり、実際可能になりつつあると聞いている。また幹細胞や老化などの指標となる分子マーカーを開発し、放射光等を用い高感度に観察する技術が確立できれば、臨床医学における貢献は極めて大きいであろう。さらに、放射光 X 線（あるいは現在開発中の X 線自由電子レーザー）と最新顕微鏡技術を用い、細胞内の微細構造を非侵襲的に高解像度で観察できれば、基礎医学の大きな発展につながると期待している。

④ **ビーム性能**：放射光利用経験者でないため、ビーム性能の詳細については言及を避ける。

⑤ **メリット・デメリット**：医学・生物学者が何を知りたいと考えているか、放射光ビームラインの設計・運営に携わるものが正しく理解し、常に研究課題解明に向けた方策の議論を重ねることである。これにより、医学と放射光科学の真の異分野連携が可能となると考えており、異分野連携を促すための礎という点では私のもう一つの研究拠点であるシンガポールと比べても日本は後れをとっていると思われる。

⑥ **その他**：なし。

以上

ヒアリング調査報告書（B：健康・医療分野）

1. 調査分野：放射線生物学（2014年8月21日調査）
2. 調査対象者：平岡 真寛（京都大学 教授）

① **社会的・科学的課題**：健康・医療分野において、今後 5～10 年にわたって想定される社会的・科学的課題として真っ先に挙げられるのが、超高齢化社会の急速な進展と先端医療の導入による医療費の高騰である。この問題は日本だけにとどまらず、欧米諸国のみならず今後中国において最も深刻な問題となるであろう。このような情勢を踏まえ、日本が世界に先駆け模範的な打開策を打ち出すことができれば、大きな国際的優位性をもつことになり、その経済効果も含め、災いが福に転じる大きな好機でもある。

② **研究内容**：上述の問題を解決するために取り組むべき研究として、①先制医療（病気前診断）、②超早期診断、③革新的な創薬、④無（低）侵襲治療、⑤低コスト、ハイスループット医療技術の五つが挙げられる。その中で、放射光が貢献できる可能性があるとするれば、②超早期診断、③無（低）侵襲治療、④革新的な創薬、の三つである。④については、従来の生体分子（タンパク質やウイルスなど）の高分解能構造解析による創薬の設計ということで今後も期待できる分野であるが、本ヒアリング対象者の専門外のためここでは触れないでおく。

③ **放射光の貢献**：超早期診断における放射光利用について、被曝線量、照射野の小ささ、他の医療イメージング技術の革新を考慮すれば、必ずしも放射光が有効とは言えない。特に高速 X 線 CT 技術の開発（検出器の性能向上や画像解析技術の発展を含む）、さらには多くの病気に対する汎用性などから総合的に判断して、放射光の医療への有効利用の可能性が高いとは言い難い。しかし一方で、がんの診断などにおいて一細胞レベルでの形態観察など、より高分解能・高解像度でのイメージングが必要な局面では放射光の価値が出てくる可能性もある。また乳がんの診断において、乳がん細胞は比較的体表面に近く、乳がん細胞特異的に反応する元素の検出において軟 X 線放射光が有効利用できる可能性が高いと思われる。

無（低）侵襲治療については、主としてがんの放射線治療のことを指すが、ここでも放射光のエネルギーレベル（5 keV - 20 keV）は通常の放射線治療で用いる光（～200 MeV）と比べて低過ぎるため、体内深部まで光が届かない欠点を有しており、有効な手段とは言いがたい。しかしながら、がん細胞のみを選択的・部位特異的にたたくという目的では、放射光を用いる利点もあると思われる。

④ **ビーム性能**：兵庫の SPring-8 の委員会でもまとめた 10 年前の経験では、放射光が医療に利用できる余地はきわめて小さいと思われる。問題として、被曝線量、照射野の小ささ、他の医療イメージングの優位性の少なさが挙げられる。

⑤ **メリット・デメリット**：構造解析による創薬などは重要だと思われるが、医療・健康という観点からはそれほど大きなインパクトは期待できないのではないかと。

⑥ **その他**：本分野は技術進展が非常に速いため、現在の医用工学技術の事情に詳しい盛 英三博士（東海大学）、菊池 眞博士（元 防衛医大副学長、現 機器センター長）にも、より最新の情報を収集されることを薦める。

以上

ヒアリング調査報告書（B：健康・医療分野）

1. 調査分野：バイオメディカルイメージング（2014 年 9 月 4 日調査）
2. 調査対象者：盛 英三（東海大学 教授）

① **社会的・科学的課題**：健康・医療分野における課題として、これまでの臨床医学は μm オーダーのものを主な観察対象としてきたが、今後の臨床医学は nm サイズさらにはサブナノレベルのものをも対象としていくことが必然である。すなわち、癌細胞や微小血管の *in situ* での観察は従来の μm オーダーの観察で事足りるが、分子構造レベルでの解析となれば、さらに数桁高分解能の観察を実現する必要がある。ただし、基礎科学の進展が臨床医学に普及するには 20～30 年程度のタイムラグがあることに留意しなければならない。

② **研究内容**：主として以下の三つが挙げられる。

- 1) タンパク質構造解析の手法の簡素化、迅速化、低コスト化。
- 2) 循環器系疾患の早期発見早期治療を実現するための細動脈（血管径 $50\ \mu\text{m}$ - $200\ \mu\text{m}$ ）の可視化と血管反応性の評価の実現。
- 3) 重元素分析の高感度化によるトレーサー技術の安全性の確保。

③ **放射光の貢献**：いずれの研究においても、放射光は非常に有効である。タンパク質の構造解析において放射光が有効利用されていることは周知の事実であるが、今後は結晶を用いないタンパク質構造解析を可能にする第四世代放射光が必要となるであろう。細動脈の可視化と血管反応性の評価の実現においても、放射光単色 X 線または cERL 由来逆コンプトン散乱 X 線を用いることで、Optical Coherent Tomography 法のさらなる高精細化が進み、極めて高解像度で微小血管を観察することが可能となる。これにより、癌細胞、脳梗塞、心筋梗塞、糖尿病患部の血管の微細構造および反応性を詳細に解析・評価でき、循環器系疾患や成人三大疾病の早期発見・早期治療が可能となる。また重元素分析の高感度化によるトレーサー技術においても、放射光 X 線蛍光分析法を活用することで、従来の RI を用いたときとおそらくは同レベルの分析感度で、しかも安全性を確保した上で遂行可能となる。

④ **ビーム性能**：第四世代放射光レベルのもの、cERL 由来逆コンプトン散乱 X 線、放射光 X 線蛍光分析用ビームなどが挙げられる。

⑤ **メリット・デメリット**：上述の放射光施設が整備・共用されれば、まさに 21 世紀の医療が切り開かれると考える。

⑥ **その他**：なし。

以上

ヒアリング調査報告書（B：健康・医療分野）

1. 調査分野：バイオメディカルイメージング（2014 年 8 月 28 日）
2. 調査対象者：谷岡 健吉（元 NHK 放送技術研究所）

① **社会的・科学的課題**：健康・医療分野において、近未来的に想定される社会的課題として高齢化社会の急速な進展が真っ先に挙げられる。「国民衛生の動向 2010/2011」（財団法人厚生統計協会）によると、全人口に占める 65 歳以上の割合は、H17 年の 20%に対し、H27 年は 27%、H36 年には 31%と推計されており、日本の人口構成は急速に高齢化している。これに伴い、疾患の罹病率の増加と医療費の増大が予測される。また別の観点からの課題として、

医療機器の輸入超過の問題が挙げられる。厚労省資料「医療機器産業ビジョン 2013」によれば、2011 年の貿易は約 5.780 億円の赤字という結果が記されている。

② **研究内容**：高齢化社会の問題に関して、その最善の対応策は病気の予防、早期発見、早期治療であり、このことが国民の幸福さらには国家経済圧迫の軽減につながると考えられる。特に癌（悪性新生物）は早期発見の有無が患者の予後および QOL と密接に関連するため、早期発見に対する努力を惜しむことはできない。また、動脈硬化などに対する血管評価法の進歩とその安全対策も重要である。一方、医療機器の輸入超過の問題については、我が国が得意とするイメージング技術、ロボット技術などを活かした先端医療機器の研究を国が積極的に支援し、その国際競争力を高めて医療機器の製造・輸出を我が国の経済成長の柱の一つに発展させることを考えなければならない。当然、そのような先端医療機器は、前述の病気の早期発見、早期治療に役立つことになる。

③ **放射光の貢献**：主に以下三つの可能性が考えられる。

- 1) 癌の超早期診断
- 2) 造影剤腎症の予防（透析導入予防）
- 3) 微小血管造影法の確立と臨床への応用

1) に関して、癌の超早期発見を可能とするため、直径が 0.5 mm 程度の微小な腫瘍であっても X 線等で診断できる新たな理論の構築と具体的手段の研究がきわめて重要である。2) については、造影剤の多用による造影剤腎症の発症を抑えるため、大幅に希釈した造影剤でも鮮明な X 線血管造影を可能とする研究が求められる。3) については、血管造影法で確認できる最小の血管径が 50 μm 程度まで小さくできれば、さまざまな病態（糖尿病も含む）の理解、早期診断、治療効果の確認など応用が広がる。その具体例の一つとして、カテーテルを用いる脳動脈瘤塞栓術において網目構造のステントや塞栓用のコイルを鮮明に描出できれば、その施術の治療効果や安全性の向上に大きく貢献すると期待される。1) ～ 3) のいずれの項目においても、放射光単色 X 線と超高感度・高画質撮像デバイスとを組み合わせた造影システムの開発が最も有効な手段になると考えている。放射光単色 X 線の特性とそこに適用する撮像デバイスの特性の良し悪しが造影システムの総合性能を決定することになるため、放射光単色 X 線の性能向上と同時に、それを引き出す撮像デバイスの研究の重要性を強調したい。

④ **ビーム性能**：ビームラインの設計に関しては、吸収コントラストイメージング、位相コントラストイメージングの両者に対応できる X 線光学系の整備は必須であり、十分な強度 (10^{8-9} photons/mm²/sec 程度以上)、照射面積 (30 mm 角程度以上) を持つ単色 X 線（エネルギー範囲：15 keV - 55 keV 程度で可変）が必要であると考ええる。また小動物を用いた評価を実用的に行うためには、エンドステーションの近くに、動物の一時飼育室や簡易な手術室も必要である。それらの施設やエンドステーションは、医学の分野で多用されている遺伝子組み換え動物の利用が可能であるような物理的対策も必要である。さらに、各地の医師が限られた時間の中で研究開発を行えるよう、地理的にアクセスのよい地域に次世代放射光施設を設置する配慮も必要であろう。

⑤ **メリット・デメリット**：一つ懸念事項として、放射光単色 X 線と特別な撮像デバイスをこれら診断・予防に用いた際のコストが挙げられるが、これについても①早期診断による治療費用の大幅削減、②利用者数の増大に伴う一人あたりの経費削減、③技術進歩による製造

および使用における経費削減のことなどを考慮すれば、トータル的にはコストはむしろ抑えられると考えている。

⑥ その他：健康・医療分野からの視点で次世代放射光施設を考えれば、最初から臨床応用を考慮したビームライン設計とすべきである。

以上

ヒアリング調査個人報告書（B：健康・医療分野）

1. 調査分野：細胞生物学（2014年8月27日調査）

2. 調査対象者：永田 和宏（京都産業大学 教授）

① 社会的・科学的課題：健康・医療分野において、今後5～10年にわたって想定される社会的課題として真っ先に挙げられるのが、超高齢化社会の急速な激化である。これとも関連して、これまでに蓄積した細胞レベル・分子構造レベルの研究の知見を如何に健康・医療分野に実際に結びつけるかが大きな科学的課題と思われる。

② 研究内容：ある一つのタンパク質に着目したとしても、そのタンパク質は細胞の中で多くの生体分子と過渡的あるいは恒常的に相互作用し、様々な制御機構のもと協同的に働いている。また細胞も、組織あるいは個体の中で他の細胞と常に情報交換・連携しながら実に巧妙に働いている。今後は、これまでの静止した生体分子を対象とした構造生物学に加え、生体分子間相互作用を含む動的構造を時分割で解析するための新技術の開発が必要になるであろう。特に細胞の中で起こる様々な事象を非侵襲的にリアルタイムに高分解能で解析できる技術を確立することができれば、細胞生物学の大きなブレークスルーになることは間違いないと思われる。その対象例として、細胞の中で正常なタンパク質が構造異常の状態（いわゆるβアミロイド）に転移する過程をとらえ、神経変性疾患を引き起こす機構の解明につながれば、社会への波及効果も大きいと期待される。

③ 放射光の貢献：これら研究を実現するために、例えば細胞膜透過性の高い波長のX線と急速に発展している顕微鏡技術を組み合わせることが一つの有効な手段にならないであろうか。特に最近、X線自由電子レーザーというコヒーレントな超高輝度X線を極短時間パルスで与えることで、破壊される前の細胞の中の一部構造を観測することに成功したと聞いている。まさに今、細胞生物学と構造生物学が融合し、新たな分野が切り拓かれる重要な時のように強く感じられる。

④ ビーム性能：放射光利用経験者でないため、言及を避ける。

⑤ メリット・デメリット：このタイミングで次世代の放射光を建設することは、日本の生命科学が世界と対等以上に戦う上で必須であると考えている。逆につくらなければ、世界から取り残される可能性もあると非常に危惧している。現在、JST さきがけ 21「構造生命科学」領域のアドバイザーをしているが、その会議でさきがけ研究者による夢のある最先端の構造生命科学研究の話を聴く機会がある。彼らから、PF、SPring-8のビームタイムが大幅に削減され、十分な放射光実験の時間を確保できていない現状も聞いている。今後の日本のサイエンスを担う優秀な若手研究者が、このような制限を受けることなく常に高いモチベーショ

ンで自由に挑戦的研究が遂行できるようにする意味においても、整備された次世代の放射光施設の建設を推進すべきと考えている。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（B：健康・医療分野）

1. 調査分野：細胞生物学（2014年8月28日調査）

2. 調査対象者：大隅 良典（東京工業大学 教授）

① 社会的・科学的課題：健康・医療分野および基礎生物学において、今後生体分子の構造解析の必要性がますます大きくなることが予想され、欧米諸国、中国、台湾でも大きなプロジェクトが推進されつつある。とりわけ中国は今後この分野で世界をリードする勢いであり、日本が世界と対等以上に戦えるかどうか非常に重要な局面を迎えていることは間違いない。

② 研究内容：生命科学が健康・医療分野に特化している感があり、構造生物学といえば“創薬”という方向で言い尽くされているのが非常に気になる点である。生体内でタンパク質は多くの生体分子と過渡的または恒常的に相互作用しながらシステムとして高次機能を生み出していることは明白であり、生命現象の本質を理解するための構造生物学研究を今後も遂行しなければならない。その意味で、複合体の構造解析がますます重要になり、そのための技術革新と施設整備の労を惜しんではいけない。

③ 放射光の貢献：これまでを遡ると、我が国における構造生物学、とりわけ放射光を利用した構造決定は国際的にも非常に高いレベルにあり、筑波 PF、播磨 SPring-8 の共同利用施設の果たしてきた役割は極めて大きかったと言える。今後もそうであると信じている。ただ今年度から PF の使用可能時期が大幅に減らされ、特に東日本の研究者には影響が出ていると思われる。夏は PF も SPring-8 も（PF は冬も）運用されていないため、個人的意見として、PF が運用していない時期 7 月 - 9 月と 1 月 - 3 月などに利用可能の次世代放射光が国内にあれば大いに役立つと考えている。逆に PF、SPring-8 と同じ時期に運用しても、ビームタイムが余るだけになる可能性がある。

④ ビーム性能：求められるビームラインのスペックとしては、少なくとも PF と同等かそれ以上が望まれる。具体的には以下の項目が挙げられる。

波長：0.97 Å-1.0 Åの間は必須

ビームサイズ：50 μm×50 μmまたはそれ以下

輝度：10¹¹(photons/sec)以上

⑤ メリット・デメリット：各放射光施設ごとに特徴を出すことは極めて重要であり、他の施設と比べ長波長側に高輝度をもつビームラインおよび X 線自由電子レーザーが開発されれば、構造生物学の分野においても新たに建設されるであろう。次世代放射光施設の有用性はさらに広がると期待される。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査報告書（B：健康・医療分野）

1. 調査分野：農学（2014年9月11日調査）
2. 調査対象者：加藤 悦子（農業生物資源研究所 上級研究員）

① **社会的・科学的課題**：基礎生命科学分野における重要課題として、以下の三つを挙げる。

- 1) 膜タンパク質の構造と機能解明
- 2) 抗ウイルス薬剤の開発
- 3) 農業基盤を支える構造生物学

② **研究内容**：タンパク質全体の 1/3 から半数を占める膜タンパク質、特に薬剤開発の対象として注目されている受容体やトランスポーターなどの構造解析が今後も活発に行われると予想される。一方、最近のエボラ出血熱の流行からも分かるように、発症した場合確固たる対処方法がないケースが多いことや、インフルエンザウイルスのように変異により宿主が変わりヒトへの感染拡大が懸念されることなどを考慮すれば、依然ウイルスは怖い存在である。ウイルスは絶えず進化し続けるため、それに対応した薬の開発を続ける必要がある。農業基盤を支える構造生物学についても、地球の温暖化や環境破壊などによる農産物（特に植物）への影響を考慮すれば、厳しい環境に耐えうる作物の品種改良や遺伝子組換え体を用いない新たな育種方法の開発は重要である。現在の農業は大規模化しているため、一度ウイルス感染が広がると拡散を止めることが難しく、多大な被害をこうむる。また家畜ウイルスの場合、最終的にヒトに感染することも懸念される。そのため、家畜ウイルスに対処するための抗ウイルス薬の開発も進める必要がある。

③ **放射光の貢献**：これら研究課題を達成する上で、放射光を用いた高分解能構造解析は極めて重要と考えている。例えば、抗ウイルス薬剤候補が見出されたときに、その作用機構を解明し、より高活性な薬剤候補を開発する上で、複製タンパク質と薬剤候補との複合体構造情報は極めて有用である。特に複製タンパク質は一般的に分子量が大きいこともあり、放射光を用いた X 線結晶構造解析は必須である。またウイルスがコードするタンパク質は多機能なものが多く、そのため柔軟な構造をとる傾向にある。そのことが結晶化の困難さにつながり、微小結晶しか得られないことも想定される。したがって、微小結晶でも高分解能のデータ収集が可能な放射光（マイクロフォーカスあるいは X 線自由電子レーザーなど）は必要不可欠だと思われる。さらに、薬剤のスクリーニングを効率的に行うためには、ハイスループットな測定と解析が必要であり、今後さらに測定の自動化が要求される。例えば、結晶を拾うことなくプレートのまま測定できる技術等が完成すれば、かなりのハイスループット化が期待できる。

④ **ビーム性能**：

- 1) タンパク質結晶構造のためのビームラインが確保されていること
- 2) 小角 X 線散乱用の専用ビームラインが確保されていること
- 3) 微小結晶の構造解析が可能なビーム特性を持つビームライン（X 線自由電子レーザーなど）が確保されていること

- 4) タンパク質結晶構造または小角 X 線散乱用のための各種解析ソフトが充実していること
- ⑤ メリット・デメリット：重要な追記事項として、今年度は PF の運用時間が短くなり、ビームタイムが配分されないため結晶構造解析ができない状況になり、最悪の場合、現在進めている研究自体の見直しを余儀なくさせられることにもなる。今後もビームタイムが短縮される状況が続くと、ビームタイムが優先的にもらえる強力チームのみが成果をだすという二極化がますます進み、様々な研究チームによる新しい研究成果の創出を阻害することになりかねない。ひいては、日本全体の構造生命科学研究の不活性化につながると危惧する。それ故、現存している他の施設との共存や有効利用について慎重に検討を重ね、現在の素晴らしい測定環境とサポート体制が継承されることを強く希望する。
- ⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査報告書（B：健康・医療分野）

1. 調査分野：食品（2014 年 9 月 10 日調査）
2. 調査対象者：田之倉 優（東京大学 教授）

① 社会的・科学的課題：健康・医療分野における重要課題として、超高齢化社会を迎えるにあたり、医療費・介護費負担の増加と生産年齢人口減少による国力低下が挙げられる。これに対抗するため、難治疾患・稀少疾患対策や再生医療に関する国家プロジェクトも重要である一方で、老化やメタボリックシンドロームといった未病を防ぐことにより健康寿命を延ばす（アンチエイジング）ための対策が重要となる。

② 研究内容：以下の三つが挙げられる。

- 1) 遺伝子多型・エピゲノム解析：加齢によるゲノム変化の解析
- 2) 老化・未病発生のメカニズム解析：上記変化による老化・未病発生の分子メカニズムの解析
- 3) タンパク質構造解析：加齢による構造多型・翻訳後修飾による構造多型の解析

③ 放射光の貢献：特に 3) の研究内容において、X 線結晶構造解析、X 線小角散乱法、さらには X 線自由電子レーザーを利用した標的タンパク質の立体構造解析を通じ、老化・未病発生の分子メカニズムの解明、アンチエイジング食物質の探索に貢献できると考えている。今後国家プロジェクトとして推進すべき重要課題の一つであろう。

④ ビーム性能：国内に新しいビームラインが建設された場合、以下のスペックが望まれる。

- 1) タンパク質結晶構造解析に関する多様な手法や高分解能回折強度データ取得に対応した波長選択の柔軟性（0.4 Å - 5 Å）、
- 2) 十分な輝度（photon flux > 10^{10} photons/sec/ μm^2 ）
- 3) マイクロフォーカスに対応したビームサイズ（< $1\ \mu\text{m} \times 1\ \mu\text{m}$ ）
- 4) 高速読み出し検出器の整備

これらに加え、酸化還元、化学修飾などによる標的タンパク質の構造変化を捉えるための

分光器など外部からの装置持ち込みに対応可能なビームラインの建設も検討されるべきである。既存の施設の使用状況から考えて、日本国内において、生体高分子結晶構造解析用ビームラインは5本以上、小角散乱用ビームラインは3本以上が同時に稼働することが求められる。

重要な追加事項として、放射光施設の十分な受け入れ体制は必須である。そのため、停止期間はできるだけ短く（少なくとも他の放射光施設停止期間と重ならないこと）、使用料金も最低限（成果公開無償利用）での運用が望ましい。十分なビームラインスタッフ数の確保も求められる。また施設への交通アクセスがよいこと、データ収集のためのリモート操作が可能であることも多くのユーザーを確保するうえで重要である。旅費のサポートがあることも望ましい。

⑤ メリット・デメリット：既存の施設の老朽化がすすむ状況の中、今後修復・再建設されたとしても、その間ユーザー利用停止が余儀なくされたとすれば、構造解析などを基盤とした生命科学研究や科学技術の発展が妨げられることとなり、世界に対して我が国が後れをとる結果となる。その打開策を海外施設の利用に見出した場合、海外施設の成果となる上、国内での人材育成の観点からも望ましくない。したがって、ユーザーからのビームタイム需要に応えるべく、国内に（できれば東日本の交通アクセスの良い地域に）PFと同等かそれ以上の性能を有する生体分子構造解析用ビームラインを複数設置し、日本全国の学術的・産業的発展に大きく寄与することが期待される。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査報告書（B：健康・医療分野）

1. 調査分野：構造生物学（2014年9月9日）
2. 調査対象者：中川 敦史（大阪大学 教授）

① 社会的・科学的課題：健康・医療分野における重要課題として、今後訪れる社会の高齢化対策や人々の生活の質向上のために、より効率良く効果の高い治療薬を短期間で開発していくことが挙げられる。また、来年度から計画されているA-MED（日本版NIH）を中心とした創薬プロジェクトが我が国における科学技術政策の重要な位置を占めることを考えると、その基盤となる蛋白質の構造情報の必要性はますます高くなっていくと考えられる。

② 研究内容：創薬ターゲットとする蛋白質分子の構造に基づいた創薬を進める上で、単結晶X線結晶構造解析や溶液小角散乱などの手法を用いて構造情報を取得する構造生物学・構造生命科学研究は、今後10年以上にわたってますます重要な位置を占めると考えられる。

③ 放射光の貢献：蛋白質などの生体高分子の立体構造を高分解能で決定する上で、放射光は欠くことのできない光源である。我が国において、放射光科学は長い歴史と技術・知識の蓄積があり、諸外国に比べて優位性を保っていたが、中国・韓国・台湾などのアジア諸国の台頭が目覚ましく、日本の地位を維持するためにさらなる努力が必要である。中国では上海に3.5世代の放射光が建設されており、また台湾の放射光もユーザーを諸外国に広げようと多く

の努力が見受けられ、さらに来年度稼働予定の 3.5 世代新リングに対する期待は高い。ビームラインのスペック的には、高エネルギー領域の利用、微小結晶をターゲットとしたマイクロフォーカス等の点において SPring-8 は近隣諸国のビームラインよりまだまだ優れていると思われるが、一方で汎用性を重視したビームラインは日本国内に依然必要である。

④ **ビーム性能**：新しいビームラインが建設されるとすれば、そのスペックとして以下の内容を希望する。

- 1) 波長：0.7 Å - 2.5 Å あれば良いが、最低でも 0.7 Å - 2.0 Å くらいの波長範囲が利用できるが良い。
- 2) ビーム強度：試料位置において、10 μm×10 μm のビームサイズで、10¹² photons/sec 程度が欲しい。そのための集光光学系が必要である。
- 3) 検出器：300×300 mm² 以上の検出面積を持つ、光子検出式の二次元検出器が望まれる。
- 4) ビームタイムの運用：国内の他の放射光施設との間で、できるだけ停止期間が被らないようにすべきである。また、タンパク質結晶学において、結晶ができてから、できるだけ短い期間でビームタイムを利用できることが重要であり、柔軟な課題選定・ビームタイム配分の仕組みを作る必要がある。
- 5) 使用料：成果非占有の場合には無料が原則。
- 6) 施設へのアクセスがよいところに建設すべきである。そうでない場合には、リモートアクセス対応は必須である。

⑤ **メリット・デメリット**：我が国における科学技術・学術の発展、産業の活性化、人材育成、国際化のあらゆる点において競争力を失わないためにも、3 GeV クラス以上の放射光リングは複数必要である。しかし、限られた国家予算の中で放射光を建設する以上、地域バランスやアクセスの利便性を十分に検討した上で場所を決めることが重要であり、それが有効利用につながる。

⑥ **その他**：なし。

以上

Report of survey for needs of a new synchrotron radiation facility in Japan (B: Field of health and medical services)

1. Survey field: Structural Biology (Aug. 18, 2014)
2. Person: Ilme Schlichting (Max Planck Institute for Medical Research, Germany, Director)

① Important social and/or scientific problems to be solved in the next five to ten years

- 1) Aging society, associated health problems. From this viewpoint, new and better drugs and personalized medicine should be designed.
- 2) Energy crisis. From this viewpoint, it is strongly required to develop alternative energy sources.
- 3) Custom-designed organisms to produce compounds and clean up waste.

② Researches to be carried out in order to solve the above problems

Several diseases such as cancers, neurodegenerative diseases and diabetes are closely related to aging.

The risk of these diseases becomes higher as we age. Structure-based design of new better drugs and personalized medicine toward specific essential proteins including Tau proteins, μ -synuclein, P450 and GPCR seem very important. To overcome the energy crisis, we need to develop alternative energy sources urgently. In this line, material science will be a more important field of research, and structure analysis of new materials such as operating batteries and biomass need to be achieved. Also, it is essential to utilize some organisms that resolve harmful substances and maintain the natural environment. In this context, chemical biology approaches that aim at the rational design of useful compounds and proteins would play critical roles.

③ How synchrotron radiation sources contribute to solving the above subjects?

- 1) Structural biology of drug targets, drug targets complexed with various compounds
- 2) Structure analysis of new materials, including operating batteries
- 3) Structural biology of (re)designed molecules

④ Performances necessary for the synchrotron radiation source to solve the subjects listed above

Regarding the performance of a new synchrotron radiation source, tunable beams of micro and medium focuses and high flux density are strongly requested. Structural biology will expand more in the soft X-ray range especially for sulfur phasing. To this end, high brilliance is not always required because it will cause radiation damage. Many of oversea facilities are planning to use tunable beams to increase the flux density and to speed up data collection as possible options. Beam focus size is also a critical issue. If we can adjust the beam size for ourselves by choosing small $\sim 1\ \mu\text{m}$ - $2\ \mu\text{m}$ using a second set of KB mirrors or large $100\text{-}200\ \mu\text{m}$ diameter depending on size and diffractibility of crystals and purposes of the measurement, it would be user-friendly. High brilliance should be kept in mind especially for small crystals/large unit cells such as membrane protein crystals.

X-ray free electron lasers (XFEL) in both the soft and hard X-ray ranges are powerful and attractive tools. XFEL in the soft X-ray range has been used to get overall images of huge particles while XFEL in the hard X-ray range likely has advantages in determining high-resolution structure using many microcrystals. Importantly, each synchrotron facility should demonstrate unique advantages to be effectively, successively and preferentially used worldwide. Additionally, no beamtime fee, easy access after peer review of proposals, excellent user support and offer of remote data collection would be ideal.

⑤ Merit if the synchrotron radiation facility specified in question (4) is prepared and provided for user operation, and demerit if it is not prepared, especially in terms of developments of science and technology in Japan

Japan needs at least one state of the art synchrotron facility in order to stay competitive. They must note that the major sources such as SLS, Diamond and APS are planning upgrades towards diffraction-limited storage rings.

⑥ Others

None.

ヒアリング調査個人報告書（C：材料分野）

1. 調査分野：半導体（2014年8月21日調査）
2. 調査対象者：宮崎 誠一（名古屋大学 教授）

① **社会的・科学的課題**：環境・エネルギー、医療応用、情報通信（各種センサー含む）に深くかかわる材料開発への要求が益々高まるとのご意見であった。既存材料の高品質化に加えて、低コスト・低環境負荷代替材料や新しい機能材料（複合材料含む）の創成に向けた研究・開発に注力されるであろうとのことであった。特に、有機・バイオ材料に代表されるソフトマテリアルに対する期待は（半導体分野においても）益々高まるが、コストパフォーマンスの観点から、実用化には長期戦略とビジョンが必要であるとのことであった。

② **研究内容**：以下のような研究内容を列挙いただいた。

1) 新規材料・プロセス技術や新構造の導入

半導体分野では、既存デバイスの高性能化・高機能化・高信頼化に向けて、新規材料・プロセス技術や新構造の導入が今後も不可欠である。

2) 集積回路関連の研究

- ・超低消費電力・極微細トランジスタ開発に向けた材料開発

高移動度チャネル材料導入に向けた研究開発

歪効果を活用するための材料・プロセスに関する研究開発

新規ゲートスタック（Metal/High-k 絶縁膜の利用）に関する研究開発

- ・高密度集積・不揮発性メモリ材料の高度化に向けた材料開発

ReRAM、PRAM、MRAM 等の高性能化・高信頼化

- ・3D集積化に向けた材料開発

センサーを含めた、各種機能デバイスと CMOS 回路との複合集積

③ **放射光の貢献**：広いエネルギー領域を利用できる放射光では、測定のプロープ深さを目的に合わせて制御できることが一つの特徴である。それを使って、実デバイスに近い形で、埋もれた界面や、積層試料における化学構造分析ができることが放射光利用のアドバンテージであるとのことであった。測定のための特殊な試料作りが不要であり、多くの材料の中から最適な組み合わせを選定する作業やプロセス条件の最適化に向けた指針を迅速に把握できるとのことであった。

④ **ビーム性能**：以下の3件を挙げていただいた。

1) 反応チャンバーが接続できるエンドステーション

表面改質、薄膜形成やエッチングの反応チャンバーが接続できるエンドステーションが強く望まれる。ビームラインの近くに各種半導体プロセスが可能なクリーンルームを備えるのが望ましい。

2) ナノビームによる顕微分光

現在、最先端半導体デバイスは 22 nm 世代になっており、極微細加工後や歪導入後の試料を高感度分析できるような性能が望まれる。特に、数～数十 nm 寸法で集光されたビームに加えて、試料位置を精密に操作できる試料ステージが必要である。

3) 角度分解測定への対応

XPS などの光電子分光測定では、角度分解測定（検出角依存性、入射角依存性）が可能であることが望まれる。これにより検出深さを変えることができ、埋もれた界面の化学構造分析が可能になる。また、放射光の偏光（直線偏向、円偏光など）を利用した化学分析も可能になる。

⑤ メリット・デメリット：（メリット）半導体分野では、最先端の材料・プロセス・デバイス技術開発において、ヘテロ界面の化学構造や構造歪の高感度分析・定量とそれに基づく高精度な材料制御手法の確立が強く求められており、実デバイスに近い試料で非破壊分析を実施できることが高輝度放射光施設の利用が大きなメリットである。放射光を利用した分析は不可欠である。（デメリット）半導体デバイスの高性能化・高機能化・高信頼化には、構成材料の性質のより深い理解とより高精度な物質制御が不可欠であり、高度な分析技術に基づく知識の蓄積と深耕ができなければ、産業競争力は低下し、人材も育たないの言うまでもない。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（C：材料分野）

1. 調査分野：炭素材料（2014年8月19日）
2. 調査対象者：村松 康司（兵庫県立大学 教授）

① 社会的・科学的課題：二次電池や燃料電池などのエネルギー貯蔵デバイスの材料、軽量・強靱・高耐久な素材・材料、次世代半導体デバイス、食糧や生体・医療技術に関するバイオ・ソフトマターは今後の社会を支える基盤材料として重要な研究開発ターゲットであり、それらに大きく寄与するものが炭素（C）材料であるということをお話いただいた。自由度の高い炭素原子を制御して所望の性能・物性を発現させる炭素材料の開発技術は極めて重要なキーテクノロジーということであった。炭素材料に新機能を発現させるホウ素（B）、窒素（N）、酸素（O）、フッ素（F）、シリコン（Si）、リン（P）、硫黄（S）などの軽元素も含めて、炭素を中心とする軽元素材料の開発と物性制御を原子・分子・電子レベルで分析評価する技術の先端化は今後の重要な課題であるということであった。また、これら分析情報の解析のために汎用な計算手法の確立が重要であるとのお考えであった。日本企業の炭素材料技術は世界のトップレベルであるが、原子・分子・電子レベルの特性評価からの材料理解が不足しているのが課題であるとのことであった。

② 研究内容：以下の3項目を挙げていただいた。

(a) 軽元素材料の原子・分子・電子レベル分析技術の高度化と理論解析手法の確立：

軽元素材料の構成元素（B, C, N, O, F, Si, P, S 等）の電子・化学状態情報を高分解能かつ十分な信号強度で取得する分光手法の高度化と、これら分光スペクトルを元にミクロな局所構造からマクロ構造まで高精度にシミュレーションする理論解析手法の開発。

(b) 軽元素材料における電子輸送過程および反応ダイナミクスの観察・解析技術の開発：

軽元素が関与する化学反応や電気化学反応を直接観察する所謂オペランド分析技術の開発

と、これを解析する分子動力学計算手法の高度化。

(c) 軽元素工業材料の高度電子・化学状態分析環境の開発：

軽元素工業材料の高度な電子・化学状態分析を汎用・簡便に行い、かつ多様な計測に対応できる使いやすい分析環境・ツールの構築。

③ **放射光の貢献**：上記(a)～(c)いずれの課題についても放射光、特に軽元素の測定に向いている軟X線が大きく貢献するということであった。(a)と(b)は軟X線分光学と材料科学の最先端を目指す課題であり、放射光軟X線分光計測技術の高度化・先端化を進めることが必要である。(c)は放射光軟X線分析の産業界への普及を目指す課題であり、放射光軟X線分光計測技術を簡便にして汎用技術にすることが肝要である。ここでは、多様な実材料にあわせて計測できるフレキシブルな環境構築が必要であるとのお考えであった。

④ **ビーム性能**：炭素材料、軽元素を測定するための放射光の性能として以下を列挙された。

- 軟X線分光の三種の神器であるX線吸収(XAS)、X線発光(XES)、光電子分光(PES)を必ず揃え、分解能は極力高くする。
- 薄膜の膜質評価のために反射率測定が可能であることが望ましい。
- XESにはアンジュレータが必要であるが、広エネルギー範囲の分光が必要なXASに偏向電磁石光源を確保。
- 工業炭素材料には真空中に悪影響を与えるものが多いため、比較的低真空中に対応できる測定装置が必要。差動排気を考えたチャンバー構成にするとともに、ビームライン光学素子の炭素汚染を簡便に除去できるシステム(オゾンアッシャー)を備える。
- オペランド計測にむけて、軟X線を大気中にとりだすビームライン装置の開発と、ピンホールを通して微小ビームを大気中に取り出す際に必要となる低エミッタンスビーム。
- 軟X線分光では回折格子分光の数十 eV～1.5 keV と結晶分光の 1.5 keV - 4 keV に二分され、両領域をまたがる研究は少ないが、上記のように軽元素材料(B, C, N, O, F, Si, P, S 等)を対象とする限りにおいては、同一施設において両領域をまたがる軟X線分光計測環境が望ましい。
- Top-up 運転で 500 mA ビームは欲しい。測定の迅速化を考えて、できれば 1 A ビーム。
- 光軸調製と真空引きを短時間でできるビームラインとチャンバー。(ALS の BL-6.3.2 では光軸調整に 5 分、真空排気に 30 分程度)
- 高次光カットの各種フィルターをビームラインに備える。
- 多様なサイズ・形状の工業材料の実試料を測定できるよう、大きな試料ホルダーや、試料周りの自由度の高い測定チャンバー。

⑤ **メリット・デメリット**：(メリット) 炭素材料を中心とした軽元素材料に関する材料科学の発展と、国内企業の材料開発力の強化。分析技術として放射光軟X線分光法を汎用化して普及することで、放射光科学と異分野との融合が促進される。(デメリット) 国外も含め他放射光施設におけるビームタイム獲得競争の激化と、それにとまなう研究の遅延。海外に後れをとる。

⑥ **その他**：2000 年以降は炭素材料研究者による放射光軟X線分光法の利用が急増し、特に企業の利用は活発になっており、今後、学術的な軟X線分光計測技術の先端化とともに、産業利用にむけた汎用化が重要であるというご意見をいただいた。

先生は兵庫県立大学ニュースパル BL10 において軟X線吸収分光と反射率測定による軟X

線分析環境を整備しておられるが、すでに企業が活発に利用しはじめているとのことであった。ニュースバルは利用課題申請を提出して審査する必要はないため、企業からのアクセスは容易であり、かつ利用に伴う条件（全国共同利用施設の一般課題ならば成果公開が条件。成果占有課題だと高額。）は受け入れ側の判断で柔軟にできるため、企業側の負担をかなり軽減できるとのことであった。さらに、理論解析もサポートすることにより、企業材料の測定と理論解析をワンストップで完結できることも企業の利用を高めているとのことであった。放射光施設による産業支援を標榜する場合、如何に企業からの敷居を低く（負担を軽減）できるかを、企業の立場で考えることが重要だというご意見をいただいた。

以上

ヒアリング調査個人報告書（C：材料分野）

1. 調査分野：ソフトマター（2014年8月21日）
2. 調査対象者：玉田 薫（九州大学 教授）

① **社会的・科学的課題**：今後、省エネルギー、低環境負荷がますます重要な課題になって行くと考えており、材料分野では、それらを実現するために既存の材料がより優れた材料に置き換えていく必要があるとのことであった。その優れた特性を持つ材料としては、新規ナノ材料（金属・半導体・有機）およびそのハイブリッド材料が期待できるのではないかとのことであった。特に、ナノ材料のナノ界面層の構築がそのために重要であり、特に材料—生体界面（バイオインターフェイス）の構築が今後の医療応用も考えると重要な課題になってくるとのご意見であった。

② **研究内容**：以下の3件を挙げていただいた。

- 1) プラズモニクスデバイス

ナノ金属粒子と、ナノ材料の組み合わせにより所望の機能を持ったデバイスを実現。

- 2) グラフェンデバイス等

グラフェンなどの高い機能を持った材料による既存デバイスの高性能化、置き換え。

- 3) 先端ナノ加工と計測を組み合わせ分野

トップダウンアプローチによるナノ加工と、自己組織化等によるボトムアップアプローチを組み合わせ、より高度なナノ加工を実現する技術の開発、および、それらナノ構造を計測する技術の開発。

③ **放射光の貢献**：放射光は、ナノ界面の界面層の評価や、ナノ微細加工に貢献するというご意見であった。特に、放射光の優れた特性を活用して、デバイス動作中の様々な物性や特性を評価するいわゆるオペランド計測が今後のデバイス開発に大きく貢献できるとのお考えであった。例えば、動作中のデバイスを計測・評価することにより、デバイス劣化の原因となる材料の変化などを迅速に発見できるということが考えられる。ナノ界面の観測においては、X線顕微鏡のような顕微イメージング技術が威力を発揮すると期待されておられる。

④ **ビーム性能**：以下の2点を挙げていただいた。

- 1) 各種分光測定が可能な波長域の軟X線

- ・ XPS、XAFS、UPS などの有機分子の分光測定ができる波長域（10 eV-2 keV）。
- ・ マイクロビーム、ナノビームは、実際のナノ微細加工した材料やデバイスの評価に必要。
- ・ プラズモンのダイナミクスを観測するために時間分解測定が欲しい。

2) 有機分子に対応可能なシステム

- ・ 軟 X 線領域で、XPS、XAFS、UPS などの有機分子の分光測定ができるビームライン。
- ・ 実デバイスの計測のためには、できるだけ常温、常圧に近い環境で測定できることが望ましい。真空（乾燥）によるダメージへの対策。
- ・ 有機分子は、ビームダメージの影響が大きいので、その対策および評価ができること。
- ・ 電子顕微鏡、走査プローブ顕微鏡、赤外分光法などの放射光以外の計測手法も備わっていることが望ましい。

⑤ メリット・デメリット：（メリット）メリットは明らかであり列挙するまでもない。（デメリット）世界的競争に残される。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（C：材料分野）

1. 調査分野：金属（2014 年 8 月 25 日調査）

2. 調査対象者：小笹 敏弘（住友金属鉱山株式会社 市川研究所 所長）

【同席者：佐光 武文（住友金属鉱山株式会社 市川研究所 担当部長）】

① 社会的・科学的課題：エネルギー問題はますます重要度を増し、創電、蓄電、省電のための新機能性材料の研究開発が期待される状況に変わりはないとの話を頂いた。以前は半導体産業への金属材料供給が多かったが、近年韓国や台湾が台頭してきたこともあり、半導体産業への材料供給は小さくなってきているとのことであった。一方で日本の産業で重要な位置を占めている自動車産業では、xEV（環境自動車）の開発が長期的ロードマップに則り行われており、それに関係する材料に関して長期かつ科学的原理に基づいた深掘した研究開発が行われている。企業としてはこのような分野に材料を供給していくことが今後重要であるとの話をいただいた。

② 研究内容：以下の 2 項目を挙げていただいた。

(a) 革新的電池材料の研究開発：

民生品の PC やビデオカメラ用蓄電池に加えて、今後は自動車用蓄電池の需要の伸びが期待される。それらに向けた高容量かつ高信頼性二次電池向け新規物質の探索とメカニズム解明が必要。例えば、自動車蓄電池には課題も多く、新しい材料を使った研究を進めていく必要がある。

(b) 各種発電材料の研究開発：

太陽光発電や、熱電素子、燃料電池車用の発電素子など、高効率かつ高信頼性発電材料の探索とメカニズム解明が必要。今後自動車に搭載する新しい発電素子の開発が必要である。

③ 放射光の貢献：電池開発には極微量の添加元素や試料最表面の元素キャラクタリゼーショ

ンが必要であるとお話であった。現在は受託分析会社が増えてきており、様々な分析を依頼できる。しかし、その分析もあくまで実験室レベルの話で、企業で購入できる範囲の装置でできる評価に限られる。高感度かつ高分解能でこれらの知見を得ることが可能な放射光施設の評価技術は、大学や研究機関、材料メーカー等の企業が先端材料を開発して社会に供給していくうえで極めて有用であるとのことであった。

④ ビーム性能：企業が利用しやすい放射光施設への要望として、下記の項目を挙げていただいた。

- 軟 X 線と硬 X 線の両方を使える施設であること。企業の研究では重元素と軽元素の両方を測りたいというニーズがあるので、両方に適したビームが必要である。
- 各評価技術について性能重視で専門化したビームラインと、利便性や迅速性を重視した多機能のビームラインが併設されていること。これまでのビームラインは専門家が使うことを想定しており、より簡便に使えるビームラインを整備することも重要である。
- 放射光の輝度は試料が損傷しない範囲で明るいこと。また、試料の損傷程度を評価できるシステムがあると良い。
- 放射光源は top-up 方式を採用していること。
- (通年利用) 夏期の停止など長期間のビーム停止が発生しないこと。長期停止は、急いで結果が欲しいときに対応できない。
- (省電力設計) 使用電力が少ない、もしくは自家発電能力が高いこと。運転にかかる経費も削減でき、予算都合によるビーム停止期間を減らすことができる。
- 測定代行や受託解析などのサービスを利用できることが望ましい。放射光施設の利用経験の無い企業などのために、相談窓口のようなものが整えられると良い。
- 自動(無人)での測定システムが整備されていること。従業員に放射線安全講習を受講させるコストまで考えるので、放射光実験にかかる人数も可能な限り少なくしたい。

⑤ メリット・デメリット：(メリット) 技術面および運用面の充実によって、放射光を利用する機会が増え、官学民ともに広く利用されるようになる。特に、これまで手薄だった関東から東北地方にできると良いのではないかとのご意見であった。その結果、国内における新規材料開発が加速する。少ない消費電力での稼働が可能になれば、これが今後の放射光施設の設計指針となり、さらなる放射光施設の増加も期待できるとのことであった。(デメリット) 今後も放射光を必要とする評価ニーズは急激に増えていくことが予想されるが、施設が整備・共用されないと放射光を利用する機会が増えず、新規材料開発を進展させることができなくなり、産業競争力で近隣諸国に逆転される恐れがある。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書 (C：材料分野)

1. 調査分野：酸化物 (2014 年 8 月 20 日)
2. 調査対象者：細野 秀雄 (東京工業大学 教授)

① **社会的・科学的課題**: 今後はシステムやロボット等に組み込むための材料研究が必要になってくるとのお話であった。これまでは材料研究は材料の研究者の間で完結していた。例えば太陽電池などは材料の開発のみで製品化できていたが、今後は材料そのものの研究だけでなく、システム化を念頭においた材料開発を行う必要があるとのことであった。

一方で、5年後、10年後にどのような課題が出てくるのか想像することは難しいということであった。10年前はIGZOの実用化・応用がここまで広がる事は全く想像できなかったそうである。その経験から将来に想定される課題を示すのは難しいとのことのお考えである。逆に言えば、どのような課題がでたときでも迅速に研究を進める体制を構築することが材料研究には必要であるというご意見であった。

② **研究内容**: 材料の「逆設計」が必要になるということであった。これは欲しい機能から電子状態を抽出し、その電子状態を満たすような物質を合成することである。このような材料を設計するという視点が重要になってくる。

③ **放射光の貢献**: 材料研究において放射光は、どのように貢献できるかというレベルの問題ではなく「材料を研究する上で必要不可欠に近い」というご意見であった。これまで材料の開発という点では硬X線光電子分光が大いに役立ったというお話を伺った。表面の汚れを気にせず薄膜の物性を測定できるためである。放射光は電子状態や結合状態などを測定する光電子分光で大きな威力を発揮するということであった。構造解析などは実験室のX線光源でも論文になるデータがとれるが、光電子分光では実験室光源ではもう論文に掲載できるようなデータをとるのは難しいだろうというお考えであった。

④ **ビーム性能**: 第一に、大学や企業の研究者の多い東京などの大都市圏から日帰りで測定できる場所に施設があることが重要であるとのことのご意見であった。できれば首都圏の交通のアクセスのいいところがベスト。SPring-8は良い性能をもっているが遠すぎるとのことであった。材料研究はある意味スピード勝負なので、合成したらすぐ測れることが必要であり、アクセスの良い施設でターンオーバーの早い運用が必要であるということであった。半年に1回、2～3日のビームタイムではスピードに対応できない。それよりも短時間で良いので、1ヶ月ごとにビームタイムが使える方が材料研究は進展する場合が多いとのことのお考えであった。

もう一つ、レーザーを使った研究では、フォトンコストという考え方が定着しているというお話を伺った。その光を出すのにどれだけコストがかかるのか、材料の実用化研究では重要な視点である。できるだけ費用対効果の高いビームを発生できれば施設の稼働率も上がり、合成後すぐに測定できるという体制を整えられる。

また、試料周りの環境も重要であるとのことのご意見であった。例えば、ビームの性能はすばらしいのに、測定中の温度を正確に測れないなど、材料研究者が使いやすいビームラインになっていないところもある。また、放射光での実験をサポートするエンジニアのサポートスタッフを配置することも企業のユーザーを増やすためには必要であるとのことのご意見であった。特に企業に使ってもらえるようなビームラインを備える事は当然であり、産業の役にたつことが最重要であるとのことのお考えであった。「放射光のエキスパートと同じくらい、広い意味での産業応用が重要。そうでないとこれだけ国の赤字が累積しているので巨額の投資の社会的合意が取れないと思う。ビームラインの運営は、ユーザーが主体で行う部分を設けた方がベターである。」とのことであった。

⑤ **メリット・デメリット**: (メリット) メリットは極めて大きいとのことのご意見であった。これ

まで測定できなかったようなデータが測定できるようになる。放射光施設建設は、他の分野に配分される科学関連予算を圧迫することになりかねないが、現状ではメリットの方が大きく、広い意味での産業応用に重点が置かれるなら、是非建設を進めるべきであるとのご意見であった。(デメリット) 放射光のエキスパートを念頭に置いた放射光施設なら、この時期には優先度は落ちても仕方ない。整備されなかった場合でも、その予算が他の科学研究関連予算として使われるならば、研究活動全体に対するデメリットはそれほど大きくないであろうとのご意見であった。

⑥ その他: 日本には軟 X 線が強い施設がほとんどない。そのため、軟 X 線をターゲットとした放射光施設の整備も必要であるとのご意見であった。

以上

ヒアリング調査個人報告書 (C : 材料分野)

1. 調査分野: アモルファス・液体 (2014 年 8 月 19 日)
2. 調査対象者: 臼杵 毅 (山形大学 教授)

① 社会的・科学的課題: 材料分野の今後 10 年にわたって想定される課題として、例えば、環境・エネルギー分野における省エネ・創エネに寄与する新規機能材料の創生や元素戦略に基づく希少材料の代替材料開発技術、不均一系における機能解明と実材料への応用などが挙げられた。そのために理学的ものづくり (材料が示す機能性を基礎理学的に探究・解明した知見を活かした材料開発) が加速されるであろうというご意見であった。

② 研究内容: 以下の 4 項目を挙げていただいた。

1) 電池関連: 本格的なスマートエネルギー社会の実現に寄与する高度電池材料の開発研究がますます加速する。リチウムイオン電池やポストリチウムイオン電池の開発だけでなく、全固体電池や燃料電池材料など、この研究分野の裾野は極めて広い。アモルファス・液体分野では、イオン液体材料研究や各種イオン伝導性ガラス・セラミックス分野、酸化物材料分野の研究進展が多いに期待される。

2) 金属ナノ材料: ナノ微粒子化することで新たに発現する様々な機能を材料開発に応用する技術研究がさらに発展する。例えば、フレキシブルディスプレイやプリンタブル・エレクトロニクス分野の発展には金属ナノインク材料開発がキーとなる。また、希少金属を用いた材料の代替材料開発の上でも、金属ナノ微粒子研究の発展が期待される。

3) 機能性ガラス材料: IGZO などに代表される次世代半導体アモルファス材料や超高屈折率ガラス、新規封止ガラスなどといった機能性ガラス・アモルファス材料研究が進展する。相変化記録材料研究においても酸化物材料のポテンシャルが期待される。また、熔融状態の構造知見も極めて重要であり、高温高压条件などの極端条件における材料研究も取り組むべき課題に挙げられる。

4) 金属ガラス・アモルファス材料: 金属ガラス・アモルファス材料の機能発現を原子・電子レベルで解明することが急務である。それをもとにした新規材料開発が加速する。高温熔融状態の基礎研究もさらに押し進める必要がある。

③ **放射光の貢献**：放射光の利用により、アモルファスや液体などの複雑構造材料における高精度構造情報の取得と解析環境の進展、元素選択的構造解明環境の整備、高度な元素分析や電子状態の精密分析、極限環境における材料分析が可能になるため、いまや放射光なくしては研究の進展・深化はありえないとのことであった。(2) で挙げた個々の分野について、放射光がどのように貢献できるかを以下のように列挙いただいた。

1) 電池材料の研究開発における動作観察や材料開発

電池の充放電を行いながらの電極界面でのイオン輸送のその場観察や、充放電サイクルによる劣化現象解明のための構造解析。新たな電極材料開発のための基礎研究、アモルファスや液体などの複雑構造材料の研究。

2) 金属ナノ粒子機能発現機構の解明

放射光は、金属ナノ粒子の各種基礎分析研究に大きく貢献し、その知見によって、今後10年に渡るさらなる新規材料開発へのブレークスルーが大いに期待される。

3) 多元機能性ガラス材料の研究

高輝度放射光の利用による精密構造情報と高度な構造モデリング手法の発展は、IGZO の様な多元系アモルファス材料の構造研究を可能にする。多元系アモルファス材料分野の基礎研究が急速に発展することが期待される。関連して、ガラス化過程を追跡する上で、無容器法を用いた超高温液体などといった極端条件下での放射光実験も進展する。

4) 金属ガラス材料の元素選択的精密構造情報

ガラス形成能の向上や機械的強度の向上などに構成元素がどのように寄与しているのかの知見が欠如していたが、元素選択的精密構造情報の取得が可能な放射光の利用により、この分野のブレークスルーも大いに期待される。超高温液体金属や超高压下におけるガラス転移現象などといった極端条件下での放射光実験も、ホットなトピックとなる。

④ **ビーム性能**：放射光リングとしては、高エネルギー側に強い SPring-8 に対して、より低エネルギー側もカバーする 3 GeV クラスの中規模リング光源が必要というお考えであった。輝度の高い挿入光源を中心に、高エネルギー側もある程度カバーするウィグラーも併せ持つような汎用性の高いリングが理想的とのことであった。

ビームラインやエンドステーションとして以下のようなものを挙げていただいた。

- ・電池材料分野では、より低元素の元素選択が可能な XAFS ステーション
- ・機能性ガラス分野では、酸素の役割が重要なので軽元素分析が可能なビームライン
- ・ソフトマターの研究のために、低エネルギーの輝度の高いステーション
- ・中・高エネルギー (30 keV 程度まで) をカバーした XAFS、XRD、AXS、SAXS 等の複数の実験手法を行える汎用性の高い革新的実験ステーション (金属ナノ分野や金属ガラス分野、機能性ガラス材料分野の総合的な研究を可能にする)
- ・X 線異常散乱を用いた元素選択的精密構造研究環境の整備 (多連装分光計測器や二次元検出器などの整備)
- ・超高温・無容器・超高压などの極端条件下での実験が可能なエンドステーション

運用システムについては、日本の新たな技術革新を牽引する上で、国が全面的にサポートする体制が求められているというお考えであった。産学連携利用の拡大をめざし、産業利用であっても中小企業の利用については施設利用料を国がサポートするなどの大胆な方策が重要というご意見であった。

⑤ メリット・デメリット：(メリット) 資源が乏しい我が国において、材料研究の重要さは技術立国日本の存亡にかかわる。その点で、次世代中規模放射光施設の早期整備の寄与は、計り知れない。新規材料開発だけでなくそれを用いた技術革新は、我が国の学術及び産業の両面を活性化し、国際競争力を高める。SPring-8において産業利用の促進がなされているが、利用料が高額であることや、産業利用の相談窓口が整備されていないことなどが原因で、大企業による利用が主になっているのが現状である。中規模放射光施設の新たな整備が実現した場合、これらの問題を解決しながら産業利用を促進することにより、日本のものづくりを支える中小企業の先端分析施設の利用が可能となり、我が国の更なる発展が期待できる。(デメリット) 中規模放射光の整備が実現しなかった場合、同規模の放射光施設が海外において次々に整備されている中で、わが国の学術および産業の高度化や活性化が間違いなく立ち後れることとなる。

⑥ その他：農業分野における放射光利用が進むことを期待されており、農学分野のニーズ調査をぜひとも加えていただきたいというご意見であった。

以上

ヒアリング調査個人報告書（C：材料分野）

1. 調査分野：有機エレクトロニクス（2014年8月19日調査）

2. 調査対象者：時任 静士（山形大学 教授）

【同席者：佐藤 史郎（産学連携 教授）】

① 社会的・科学的課題：有機エレクトロデバイス・材料においては、今後の10年が実用化・製品化を目指した最もアクティビティの高い時期になるということであり、特にプリントエレクトロニクスに関連する材料やプロセスの研究が重要になるというお考えであった。有機材料は、個々の有機分子がファンデアワールス力で緩く結びついており、分子間相互作用および結晶粒界での構造欠陥がデバイスの性能に大きく影響を与えているということである。したがって、有機デバイスの電子特性や光学特性と、デバイスを構成する有機薄膜中の分子配列や粒界などの構造欠陥との関係を徹底的に明らかにする必要があるということであった。また、今後の材料研究は、欲しい機能を実現するためのニーズオリエンテッドな材料設計が重要になるとのお考えであった。

② 研究内容：以下の4項目を挙げていただいた。

1) 分子配向、配向形成機構の解明とその制御

有機材料薄膜中の分子配列、配向、およびその欠陥がデバイス機能にどのような影響をもつのか明らかにする。また、結晶性を高めるとともに配向を制御する技術も必要である。

2) 有機デバイス特性と結晶粒界の関係解明

粒界などの欠陥で電子移動が妨げられるメカニズムを解明し、粒界に左右されない電子輸送を発現させる。

3) ダイナミクスの解明

デバイス駆動中の特性劣化過程を解明することが重要である。また、薄膜形成過程におけ

る欠陥形成のダイナミクスを調べることでその制御因子を明らかにする。

4) 材料設計手法の開発

既存の材料シミュレーションに欠陥特性を綿密に導入することで、有機材料デバイス特性の格段の飛躍が期待される。

③ **放射光の貢献**：②で述べた研究のために、高輝度性、単色性、連続光、偏光、高平行性、演色性、パルス性、マイクロ（ナノ）ビームなどの放射光のあらゆる特性を活かすことが可能であるということであった。

1) 高輝度、単色性、幅広いスペクトル、高平行性、マイクロ（ナノ）ビーム

これらの放射光の特性は有機材料観測の常套手段である X 線小角散乱(SAXS)、XANES、EXAFS などを可能にするもので、そのさらなる高度化（高輝度化、微小スポット化、など）は、有機材料研究に大きく貢献すると期待する。特に、高輝度放射光で可能になる微小スポットは、実際の有機デバイスの所望の部位を観測するために活用できるため、デバイス観測に大きく貢献できる。

2) パルス性

欠陥や結晶成長のダイナミクス研究においては、放射光のパルス性を活用した時分割観測が期待できる。また、パルスの間欠性を利用することで励起光による有機材料の熱的な反応などを抑制しながら、所定の測定を行うことが可能になる。

④ **ビーム性能**：

1) 放射光の性能

高輝度性、単色性、連続光、偏光、高平行性、演色性、パルス性、マイクロ（ナノ）ビームなどに関しては、SPring-8 などの第3世代放射光レベルを要望する。フォトンフラックスについては、材料の欠陥研究およびデバイス特性解明に用いることを想定すると、数分という測定時間に、分子結合あたり 1 個以上のフォトンが吸収されるレベル（大雑把には $\sim 10^{10}$ photons/s）以上を要望する。また、今後の有機デバイスの各種物理サイズに対応するために、1 μm 角以下のマイクロビームを要望する。

2) 付帯設備

有機材料デバイスの小角 X 線散乱（SAXS）を高速に精密に測定するために2次元検出器の高度化が望まれる。現状より格段に大画面で高速の検出器を国内の総力を挙げて開発することを提案したい。わが国は CCD やイメージングプレートなど検出器では世界を牽引してきた経緯があり、世界の他機関と比べた優位性を検出器で発揮できる。

放射光蛍光 X 線分析も我が国の優位性技術であり、有機材料分析の主力ツールとも言える。ここでも検出系の高度化、高効率化により一層の優位性を確保したい。

3) 通信インフラ整備

各ビームラインや各実験ハッチでの実験データあるいは放射光情報を実験グループの大学と大容量のネットで結び、各メンバーが大学所在地で同時に実験に参加できるようなインフラをお願いしたい。

4) 有機材料専用の放射光施設

有機材料デバイス専用の放射光施設を提案したい。有機材料・デバイスは2025年には数兆円におよぶ巨大な世界市場が拓けると期待されており、市場が膨張すれば、放射光ニーズも大きく伸びると予想できる。有機材料の研究では環境管理が重要で、例えば製膜と評価は別々

の機関で行うというスタイルが難しい。大学の実験室で試料を作製した後、放射光施設へ輸送して測定を行うということが適切でない場合がある。すなわち、製膜からデバイス特性評価までを放射光施設で一貫して行うのが良い。

⑤ メリット・デメリット：(メリット) 次世代放射光施設は単なる「測定するための施設」ではなく、「材料・デバイス研究の世界的 COE」として、計算機化学からデバイス開発にわたる広範囲な人材の集結を図ることにより世界で抜群の成果を挙げ続けてゆくと考えている。(デメリット) 放射光による材料の物性や機能発現のメカニズムの解明無しでは、デバイス実用化への道筋は遠い。したがって次世代の放射光施設が供用されなかった場合は、有機デバイスの実用化は大幅に後れるであろう。

⑥ その他：特に無し。

以上

ヒアリング調査個人報告書 (C：材料分野)

1. 調査分野：金属錯体 (2014 年 8 月 20 日調査)
2. 調査対象者：北川 進 (京都大学 教授)

① 社会的・科学的課題：福島原発事故やウクライナや中東地域で紛争勃発後のエネルギー情勢からみてとれるように、日本はもとより世界のエネルギー需給は非常に不安定かつ脆弱な基盤の上に成り立っており、特に、石油の枯渇と原発問題は相互に絡み合い、石油燃料から天然ガス、水素ガスや自然エネルギーへのエネルギー代替が益々重要になってくるであろうというお話をいただいた。さらには将来的には CO₂ や窒素を変換してエネルギー物質を生み出す(メタノールやアンモニア)サイエンスと技術が要請されているとのことのお考えであった。材料分野においても、それらの課題を解決するために、天然ガスや水素を効率的かつ安全に貯蔵・運搬する物質やテクノロジーの開発、また自然エネルギーを効率よく取り出し、輸送する物質開発も重要になるというお話であった。

② 研究内容：以下の 2 項目を挙げていただいた。

- 1) 選択的、効率的な気体貯蔵や分離材料の開発

例えば、天然ガスを気体の状態で貯蔵できる材料が開発されれば、運搬コストが大幅に下げられる。また、大気中に含まれる CO₂ を分離できる材料の開発などが考えられる。

- 2) 自然エネルギーを高エネルギー物質へと変換する触媒の開発

CO₂ や窒素を変換してエネルギー物質 (メタノールやアンモニア) を生み出すことのできる触媒やそのサイエンス。

③ 放射光の貢献：革新的な新しい材料開発のためには新現象の探索とメカニズム解明が重要であるのは当然であり、メカニズム解明のための放射光を用いた回折やイメージング測定と解析は必要不可欠ということであった。特に、放射光施設において、様々な環境でのその場測定や同時測定によって、实际的に現象を明らかにすることは材料科学にとって非常に重要であるとのことのお考えであった。金属錯体のその場測定では、300℃、数十気圧程度の環境が必要であるということであった。また、同時測定では、一つの試料に関して様々な手法で測定で

きるのが放射光のメリットであるとのことであった。

④ ビーム性能：

1) ガス雰囲気実験施設：ガス雰囲気での実験がハッチ内で可能なようにインフラとユーティリティーが必要。有毒排気ガスを排出できるような安全対策が必要。高圧実験が可能なように、高圧ガス保安法の法令に基づく施設が必要。

2) ビーム性能：ビームは構造解析のための硬 X 線からスペクトロスコピーの軟 X 線までが必要。マイクロビームも有効である。

3) 専任のテクニカルスタッフ：誰でも簡単に測定できるように、専任のテクニカルスタッフを充実させる。支援スタッフの業績評価をできるシステムの確立も重要である。(博士研究員や正規研究員であってもオリジナル研究以外に、支援業務などをしっかりと評価できる制度が必要。全ての人材を独創的研究者としてしか評価しない基準や偏見があれば正常な運用はできない。)

⑤ メリット・デメリット：(メリット) 国内の学術研究のみならず、企業連携研究により、日本の経済を活発化し国力増強につながる。(企業の連携研究には、大学が窓口になる必要がある。)(デメリット) 放射光研究の衰退。放射光コミュニティがガラパゴス化する。放射光を使わない研究の推進が必要になる。また、これまで放射光を使用したことが無い材料研究者の中には、放射光を活用できる潜在的な放射光ユーザーがたくさん存在する。その人たちの研究機会が失われ、材料研究にとって大きな痛手になる。

⑥ その他：特に無し。

以上

ヒアリング調査個人報告書 (C：材料分野)

1. 調査分野：海外動向 (2014 年 8 月 20 日調査)
2. 調査対象者：寺崎 治 (ストックホルム大学 教授)

① 社会的・科学的課題：材料関係では、エネルギー、環境、水、医療分野で様々な課題が山積みであり、それらを解決するために、様々な材料研究の要求が出てくるとのお話であった。

実験手法に要求されるのは、清浄表面作成と測定の問題、その場観測の要求、時間分解によるダイナミクスの観測、結晶だけではない様々な物質の構造情報、各種エネルギースペクトルの測定を可能にすることと思われる。

注目すべき材料としては、無機ナノ構造体、ソフト構造体を挙げていただいた。無機ナノ構造体は、単結晶作成が困難で一般的には粉末 X 線回折に頼らざるを得ない。また、X 線照射が構造に損傷を与えたり、機能に影響を与えたりする可能性が高く測定が難しい。生物や生体試料を含むソフト構造体は、今後医療分野とも関連し、その構造解析や物性解明が益々要求されるとのことであった。

② 研究内容：以下の 3 つを挙げていただいた。

- 1) 無機ナノ構造体の構造解析
 - ・完全な結晶の構造決定

- ・対相関関数が良い構造の表現法となる乱れた系の構造評価
- ・結晶に様々な欠陥が低密度で存在する系の完全な結晶からのズレの評価
- ・ある種の構造単位 (building block : molecules or nano-cluster or nano-crystal) を基に作られる新奇的な階層的構造体

2) ソフト構造体などの構造解析

- ・コヒーレント回折イメージングによる 3 次元構造の再生
- ・X 線タイコグラフィックトモグラフィーによる 3 次元内部構造の解明

3) その場 (in situ) 解析

- ・生体内の細胞などを生きたままの状態で解析できる X 線イメージングなど

③ **放射光の貢献**: 放射光の平行な硬 X 線を使用することで、格子サイズの大きな結晶の構造解析が可能になる。放射光のコヒーレントな X 線を利用することで、コヒーレント回折イメージングや X 線タイコグラフィックトモグラフィーが可能になる。幅の広い領域の軟 X 線を使用することで種々のスペクトロスコピーが可能になる。

④ **ビーム性能**: 以下の 3 件のご要望をいただいた。

1) サポートスタッフの充実

海外の放射光では、ビームラインサイエンティストだけではなく、博士号を有した多数のエンジニアやテクニシャンがビームラインの運用をサポートしている。しかも、身分に上下関係はなく、非常にフラットな関係が保たれている。日本の放射光施設の運用にも、エンジニアやテクニシャンをもっと活用すべきである。

2) 近隣にある総合力の高い大学によるサポート

Swiss Light Source (SLS) は、Paul Scherrer Institute が運営しているが、同じ Zurich にある ETH と強く結びつきながら開発、研究、教育、および運転を行っている。スウェーデンの MAX Lab も同様に Lund 大学が強くかかわっている。外からのユーザー受入や運営も Open にしながらも、近くにある総合力の高い大学があらゆる分野で開発、研究、教育、および運転をサポートできる体制は重要である。したがって、次期放射光施設は、そのような総合力の高い大学の近くに建設するべきである。

3) 測定機器開発セクションの充実

SLS では、施設の中に検出器開発グループがあり、そこで開発された 2 次元 X 線検出器が世界中の放射光施設で使われている。日本でも、施設内に測定機器開発グループやセクションを設けるべきである。

⑤ **メリット・デメリット**: (メリット) 次世代放射光は、その性能から海外の研究者を魅きつけるような施設になるであろう。したがって整備・共用された暁には、海外からの優れた研究者が集まり、研究の国際化が進展するメリットが大きいとのことであった。また、その波及効果で周囲の大学に於いても、国際化グローバル化が進展するとのことであった。すなわち、放射光施設は、周囲の大学や研究施設の国際化の窓口になるとのご意見であった。(デメリット) 整備されなかった場合は、材料研究が後れるために、日本の国力が損なわれるとのことであった。また、周囲の研究施設のグローバル化も立ち後れるとのことであった。

⑥ **その他**: 特になし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（D：情報通信分野）

1. 調査分野：スピンドバイス（2014年8月22日調査）
2. 調査対象者：久保田 均（産業技術総合研究所 チーム長）

① **社会的・科学的課題**：原発事故以後のエネルギーコストの上昇に対応するための省エネルギー技術開発、労働力不足を補い同時に高齢化社会を支えるための情報技術や高機能ロボット技術開発、セキュアな情報通信技術の推進が強く求められる。また、ユビキタス情報化社会の進展においてセンサー技術の発展も非常に重要である。センサーネットワークの構築においては、低消費電力、高感度、通信機能などの性能が必要となる。現在、これらの多くの分野において日本の研究開発状況は世界の最先端にあり、今後もその競争力を維持していくことが大切である。

② **研究内容**：情報通信、センサー技術における高速、大容量、省エネルギーを満たす将来技術として、スピンドバイスの担う役割は非常に重要である。現在、スピント注入磁化反転方式による超低消費電力の不揮発メモリや演算素子などは実用化に近づいており、さらに次世代の超低消費電力技術として電圧制御磁化反転方式の研究も始まっている。一方、超高感度磁場センサーとして、スピントルク方式による rf 波発振デバイスに対する研究も進められている。

③ **放射光の貢献**：高性能なスピンドバイスの開発においては、界面における原子レベルの構造制御が行われている。放射光を用いた分析により、界面における原子レベルでの構造・磁性評価が可能となれば、その有用性は極めて甚大である。また、メモリのセルサイズは2022年頃には 10 nm^2 レベルに達することが予測されており、高い空間分解能と時間分解能を有する MCD 計測技術の確立も同様に重要である。

④ **ビーム性能**：ナノデバイスの界面における原子層レベルでの深さ分解 MCD を可能とする計測技術の確立、ならびに 10 nm レベルでの面分解能、 10 ps 程度の時間分解を可能とするビーム性能が求められる。また、スピンドバイスにおいて評価が要求される元素種としては、Fe, Co, Ni, Mg, Pt, Pd, Ru, B などである。

⑤ **メリット・デメリット**：メリットとしては、日本の基礎研究の底上げに直結するのは言うまでも無く、従来手法では得られない基礎物性解明に立脚した応用研究の展開、さらには効率的なデバイス開発などが挙げられる。また、基礎と応用の密接な交流により、多様な人材育成にも大きく寄与するものと期待される。整備・供用されなかった場合のデメリットは、上記メリットが達成できないことに加えて、日本の産業・研究における国際競争力の維持にも支障が出るのが懸念される。

⑥ **その他**：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（D：情報通信分野）

1. 調査分野：有機デバイス（2014年8月29日調査）

2. 調査対象者：佐々木 孝彦（東北大学 金属材料研究所 教授）

① **社会的・科学的課題**：基幹デバイス・端末デバイスの両方での省電力化、省資源化、低環境負荷化が重要である。加えて端末においては、多様なデバイス、ユーザーに対応すべく軽量、フレキシブルなどの特性も必要となる。有機デバイスにおいては、実用化に近い課題としてプリントプロセスによるデバイス製造を挙げることができ、具体的には発光素子や使い捨て電子タグなどへの応用が期待されている。また、将来技術としては単分子デバイスの研究が進められており、今後10年程度で集積化技術が進展するものと期待される。

② **研究内容**：省エネルギーに関しては、新規機能性物質の開発、新原理に基づく電子機能デバイス等の開発が重要となる。一方、省資源、低環境負荷の電子材料開発においては、有機デバイスへの期待が大きい。その課題としては、有機分子を合成すれば、その評価が迅速に行え、かつ合成技術にフィードバックできるような研究体制、組織が重要である。

③ **放射光の貢献**：基本的には物質・材料の構造解析と電子状態分析の2つを中心とする開発研究に対して、他の量子ビームと相補的な利用を行うことが重要。電子状態研究では、元素選択 MCD やフェルミレベル近傍の電子励起状態（共鳴－非共鳴軟エックス線分光）、赤外可視紫外光分光などの分析分光が微小試料に対して実施できる。これらの分布計測を行う場合は、サブミクロン領域の空間分解能が欲しい。また、構造解析では高輝度、高直進性を利用した小角散乱による複雑、生体、有機系物質の構造研究の進展が期待できる。ピコ秒オーダーでスナップ計測ができれば、反応・励起過程のダイナミクスが評価できる。

④ **ビーム性能**：電子状態分析を主とする場合は、赤外から軟エックス線領域までのエネルギー領域での高い輝度が必要。しかし有機系物質の場合は、ラディエーションダメージを考慮する必要がある。有機デバイスにおいては、小角散乱が重要であり、SPRING-8 と同程度の高い指向性、安定性が求められる。放射光施設に対する要望としては、トッパアップ運転、24時間運転、エンドステーションでの人的・装置面での柔軟な対応、学術研究と産業利用における適正な料金、サポートなど。

⑤ **メリット・デメリット**：現状では需要に対して十分なビームタイムが供給されておらず、需要に対する緩和が期待できる。特に産業利用の場合は、利用施設が国内に限定されるのでメリットが大きい。ただし、需要の波があるので、平均化ができるような運用上の工夫が必要。供用されない場合、産業利用においては直接的なデメリットがある。学術研究面においては短期的には海外利用など可能であるため直接のデメリットは少ないが、研究基盤技術に対する日本人の人材育成ができない、技術開発や高度な施設建設・運用に関するノウハウの継承ができないことに関して、中長期的な視点においてデメリットを考える必要がある。

⑥ **その他**：学術研究においては、他の国内施設と相補的で特徴あるエンドステーション性能が望ましい。一方で、産業利用で重要なのは、特化した性能よりもデータのスループットの良さであり、試料を持ち込む、もしくは送付するだけで測定結果を提供できるだけの支援環境を整える必要がある。産業利用と学術利用を分けたビームライン建設（性能設定）と運用、支援体制を有する施設・組織を作ることが効率、効果的である。

以上

ヒアリング調査個人報告書（D：情報通信分野）

1. 調査分野：酸化物・プロセス（2014年9月11日調査）
2. 調査対象者：寺岡 有殿（日本原子力研究開発機構 主任研究員）

① **社会的・科学的課題**：光デバイスは短波長化、高周波化による大容量、且つ極限的動作の方向に進展することが期待されている。Si 電子デバイスでは依然 CMOS 技術の発展が見込まれ、10 nm ノードの実現、3 次元集積化の進展が期待されている。さらに 10 nm 以下のゲート長、10 Tb/inch² ストレージ（1 ビットサイズが 8 nm × 8 nm）実現が求められている。

② **研究内容**：ナノスケール、原子レベルでの微細加工、界面制御技術の確立が極めて重要である。従来のプラズマ制御技術に加えて、極限的に制御された原子・分子ビーム技術による成膜、エッチング技術が求められる。これらの手法を駆使することにより、無損傷かつ原子レベルの制御が可能になることが期待されている。さらに、表面・界面における反応評価・解析技術の開発も重要である。例えば、表面反応の速度論的な進行過程を実時間計測することはプロセス最適化において必須である。

③ **放射光の貢献**：上記研究課題において、放射光の有用性は極めて高い。まず、表面反応解析において、X 線光電子分光法で実時間計測することが可能となる。軟 X 線では深さ 3 nm 程度まで、また厚膜や界面領域の計測では硬 X 線を用いることができる。硬 X 線光電子分光の場合、光学系を最適化して分解能と光電子の捕集効率の確保が必要となる。さらに実時間計測のためには十分な高輝度光源が必要であり、分析領域(0.1 mm - 1 mm)程度に集光することにより高感度かつ高分解能の測定が可能となる。X 線光電子分光においては、現状の放射光分光器の分解能（概ね $E/\Delta E = 10^4$ ）で十分である。更に超音速原子・分子ビームを併用した実時間計測のために、多様なビーム源の導入が可能となる仕様が必要である。

④ **ビーム性能**：まず、エミッタンスについては、他国では既に 3 GeV クラスの低エミッタンスリングが建設・計画されている。日本においても今後の様々な先端的な研究開発を実現するために、世界トップクラスの低エミッタンスを狙うことが望ましい。エネルギー帯域については、軟 X 線の場合、脱出深さや炭素励起の観点から 250 eV - 2000 eV 程度の領域がカバーされることが望ましい。強度については 10^{11} photon/cm²/s 程度のフラックス密度で光電子分光測定は可能であるが、集光や高輝度化により高精度な測定が可能となる。

次に、ユーティリティ・管理面からは、冷却水の漏水対策、圧空供給、ロータリーポンプ用の排気管などがあると便利である。また、ビームライン休止期間中でも冷却水、圧空の利用が可能となるようにして欲しい。また挿入光源の管理は加速器部門で行う方が良い。運転時間については、大学、国研、企業ではユーザー事情が大きく異なるため、個別の事情に応じた運転、ユーザータイムの検討の必要がある。エンドステーションや附属施設として、有毒ガスを含む高圧ガス利用を前提とした施設設計が必要であり、またドラフト、純水製造装置などを備えた化学準備室や工作室も必要。

⑤ **メリット・デメリット**：従来施設では軟 X 線ビームラインが少なく、光電子顕微鏡に関する利用・研究が国外に比べて後れた原因と思われる。産業界やユーザー開拓の観点からも軟 X 線ビームラインを持つ新規放射光施設の共用は大きなメリットが期待される。共用され

なかった場合には、東日本に放射光関連の大きな研究者集団を抱える現状と PF の老朽化に対して、近い場所に先端的な施設が存在しない状態が続くことや、人材育成にとってのデメリットがある。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（D：情報通信分野）

1. 調査分野：スピン RAM（2014 年 8 月 29 日調査）
2. 調査対象者：大野 英男（東北大学 電気通信研究所 所長）

① 社会的・科学的課題：情報処理量・通信量の劇的な増大に対応するため、情報機器の高性能化（高集積、高速、低消費電力）が課題となる。半導体技術の延長だけで課題を克服するのは困難であり、スピントロニクス等の新しい技術を取り入れた集積回路の開発が世界的に活発になっている。

② 研究内容：まず、半導体素子と同等もしくはそれ以上の性能を持つスピントロニクス素子の開発と集積回路への搭載がある。ナノメートル領域の加工プロセス確立、素子性能として十分な熱安定性を有する不揮発性、省エネルギー、高速動作、半導体プロセスとの整合性等が課題である。次の課題として、新原理に基づく新規スピントロニクス素子開発がある。具体的には低消費電力が期待されている電界駆動方式が挙げられる。これらを実現するための研究課題として、ナノサイズ領域におけるピコ秒オーダーでの磁化ダイナミクス計測、界面における原子スケールでの構造・磁性評価、さらには界面における拡散ダイナミクスなどがある。

③ 放射光の貢献：スピントロニクス分野における放射光利用の最大のメリットは、元素選択 MCD であり、この元素選択 MCD を界面における原子レベルでの評価、時間領域における評価（磁化ダイナミクス）に適用が期待される。構造解析としては、微量元素分析と磁気異方性や磁化ダイナミクスの相関なども重要課題である。また電界駆動方式のスピントロニクスに対しては、界面・隣接層における軌道・磁気モーメントの電界依存性などが必要である。さらに、磁性層/障壁層における界面での原子配置が素子特性に大きな影響を与えることも近年明らかとなっており、EXAFS による高感度な解析技術も重要である。

④ ビーム性能：厚み 1 nm 程度の 3d 磁性薄膜に対する界面とバルク状態で元素選択 MCD を短時間で精度良く測定したい。そのため、高輝度軟 X 線（< 10 keV の波長領域で SPring-8 の 1000 倍以上）が望ましい。またビーム径をナノメートル・サイズに絞った 10 nm 以下の空間分解測定、ピコ秒以下の時間分解測定ができることが望ましい。専任研究者、技術職員が常駐し、非専門家でも最高水準の測定が可能な体制が望ましい。

⑤ メリット・デメリット：供用された場合のメリットとして、上記課題解決に加えて、現状のビームタイム制約の解消、現施設のバックアップ、東北地区における研究拠点形成、高度研究施設立ち上げ・運用に関する人材育成、国内雇用の拡大、などが挙げられる。供用された場合のデメリットとして、設置・維持コスト、運営組織、既存施設（主に KEK/PF）との役割

不明瞭(高輝度硬 X 線を備える SPring-8 とは相補的)などである。

⑥ その他：少なくとも磁性分野において、元素選択 MCD によるピコ秒ダイナミクス、ナノメートル顕微計測技術などは、欧米の放射光施設の後塵を拝しているように見受けられる。定常的に一定レベルのビーム供用も重要であるが、サイエンスの未踏領域に挑戦することも極めて重要であり、その意味において非放射光研究者と放射光研究者が高いレベルで協力できるような組織・体制があると良い。その場合に、非放射光研究者にとって利用しやすい研究環境であることが重要。

以上

ヒアリング調査個人報告書（D：情報通信分野）

1. 調査分野：半導体デバイス（2014 年 9 月 16 日調査）

2. 調査対象者：富田 充裕（東芝 研究開発センター LSI 基盤技術ラボラトリー）

① 社会的・科学的課題：Si 半導体デバイス分野（主にメモリ）について、モバイル電子機器のメモリ容量増大や低消費電力化に対応するため、デバイスの微細化や 3 次元化が進むと予想できる。そのために、従来では Si と Si 酸化物、窒化物のみをプロセスで扱っていたが、ハフニウム化合物など、新材料の開発ならびにプロセス開発が重要となっている。

② 研究内容：新材料ならびにプロセス開発には、複雑な組成や構造を持つ試料に対して、その構造、原子配位、結合状態などを高精度で分析することが必要である。本目的に対しては時間分解測定は必要とせず、空間分解能は 1 μm で十分であるが、深さ方向に関しては界面分析などにおいて原子レベルの精度が必要である。

③ 放射光の貢献：上記目的に対して、SPring-8 を利用して HAXPES、XAFS、薄膜 XRD 等の材料分析を実施している。現在、民間 10 数社共同で運営している専用ビームラインを利用しているが、SPring-8 では年間 4 ヶ月程度の停止期間があり、タイムリーな分析が行えない場合がある。その場合は他の放射光施設を有償で利用することなどで対応している。

④ ビーム性能：分析に関して、ビーム性能は現状の SPring-8 の仕様にて大きな問題はない。むしろ、産業利用においてはタイムリーな測定、分析ができることが重要であり、停止期間の短縮だけでなく、他施設と停止期間の調整が図られ、国内においていずれかの施設が常に測定可能な状態となっていることが望ましい。また、試料を送付して測定結果を返送する測定代行サービスが SPring-8 で行われているが、ユーザーによっては解析ができない場合も多いので、解析までおこなう仕組みになっていると有難い。特に中小企業などでは、さらに企業の需要に対してコーディネーターによる手厚いサポートが必須。また測定申請してから、なるべく短期間で測定できるような仕組みも必要。期間短縮や費用低減などの観点において、ビームラインの未利用時間を作らないようするなど、運用面での工夫も重要である。

⑤ メリット・デメリット：SPring-8 と同等以上の性能を有する新規放射光施設が供用され、かつ国内の他の放射光施設との連携のもとで停止期間の調整が行われれば、年間を通じてタイムリーな測定、分析が可能となり、産業利用において大きく貢献できると期待される。このことは、他国に対して産業競争力を発揮する上でも重要と考えられる。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（D：情報通信分野）

1. 調査分野：光通信・光デバイス（2014年8月29日調査）
2. 調査対象者：末宗 幾夫（北海道大学 特任教授）

① 社会的・科学的課題：現在情報通信量は指数関数的に増大しており、「情報爆発」とも呼ばれる状態に近づきつつある。その結果、情報通信機器の電力消費量も急増し、2025年には国内総発電量に占める割合も20%に達するとの見積もりもある。またこれまで光通信は、基本的に単体デバイスの組み合わせで行われてきているが、増大する情報量に対処するための超高密度波長多重通信においては、光デバイスの集積化、各素子の低消費電力化が必要となる。

② 研究内容：光デバイスの小型化による低消費電力化、例えば微小共振器を使ったマイクロレーザ、フォトニック結晶導波路を使った光デバイスの集積化、特に波長多重における光の合波、分波の集積回路、レーザ光源、変調器の集積、フォトニック結晶導波路を使ったスローライト技術による光信号の遅延、マッチング技術の活用など、光回路の集積化を進める。

③ 放射光の貢献：フォトニック結晶など、微細な精度が要求される光デバイスの作製には、現状では電子ビーム露光が使用されている。しかし光デバイス、とりわけ光集積の場合には、通常のLSIチップ以上に大面積描画が必要となり、電子ビーム露光では時間がかかりすぎて実用的ではない。その点、波長が短く微細なリソグラフィーが可能で、かつ広い面積で直進性がよい放射光を使えば、大面積描画を短時間で終わらせることができ、実用化に必要な不可欠の技術と考えられる。しかし現状では、どのように大面積で高精細の放射光用の露光マスクを作製するかが、大きな課題と思われる。

④ ビーム性能：大面積リソグラフィーに必要なビーム性能、エンドステーションの供用。

⑤ メリット・デメリット：一般的には、③のような方向で実用化を目指した研究を進める場合、まず共用設備で実績と基盤技術を培い、コスト、残された課題を洗い出してから実用化につなぐことにより産業化が可能であり、産業の活性化が可能となる。又そのための基盤技術を持つ人材育成や、国際的な関連分野の活性化により、市場としての具体性が広がってくる。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（D：情報通信分野）

1. 調査分野：EUV リソグラフィー（2014年9月17日調査）
2. 調査対象者：木下 博雄（兵庫県立大学 教授）

① **社会的・科学的課題**：情報通信分野の発展は、医療・ライフサイエンス、農業、環境へと移行していくことが予想され、素子間での相互通信、連携や電池に代わる動力源などが重要となる。一方で、素子自体の高性能化も進み、より微細なトランジスタや 3 次元化が進むものと期待される。

② **研究内容**：量産化技術、低消費電力、電池以外の動力源、大規模データ処理技術など重要な課題が幾つかあるが、デバイス技術に関しては、10 nm 以下の加工精度が要求されており、今後 10 年以内に 7 nm、さらにその先に 4 nm まで進むことが期待されている。

③ **放射光の貢献**：デバイス作製技術に関して、極端紫外線（EUVL）用マスクのパタン欠陥や位相欠陥評価が重要な課題である。これまでに反射型光学系を用いた拡大鏡を用いて 30 nm の欠陥検出、微細な位相欠陥を放射光のコヒーレント性を利用したレンズレス顕微鏡による 25 nm 幅の欠陥検出などを実現している。これらのイメージング技術は今後の 3 次元デバイスの性能保証には必須であるが、将来的には 10 nm の欠陥検出精度が必要である。また 3 次元デバイスの実現のためには、レンズレスによる非破壊 3 次元構造再生技術開発が必須であり、高輝度のコヒーレント光が必要である。さらに、これらの検査技術と局所構造解析技術とが同一サンプルにて行えることも重要。

④ **ビーム性能**：波長範囲は 0.1 keV - 20 keV、輝度は 10^{20} photons/s/mm²/mrad²/0.1%BW が欲しい。ビームサイズは 10 μm × 10 μm の範囲で高輝度光が必要であり、集光ビームは 10 nm 以下が望ましい。その他のリング性能に関しては SPring-8 と同程度で問題ない。

マスクの欠陥評価に関して、プラズマ光源を用いた検査装置があるが、高精度な評価には高輝度なコヒーレント光が不可欠であり、実用化時には定常的な検査実施に対応できる設備が必要である。産業利用を考えると使い易さが極めて重要であり、サンプルを送付して遠隔操作で検査・分析が行える、などの仕組みを構築する必要がある。

⑤ **メリット・デメリット**：国内にある放射光施設の多くは放射光の専門家が主導で設計、開発を進めてきたが、次世代放射光においては、数多くの産業化将来技術に対応でき、ユーザー重要に応えられる施設となることを望む。例えば、システム設計の段階から、東レリサーチなどの民間の受託分析会社に参画してもらう、なども検討すべき。また分析装置企業も積極的に取り込むことも必要である。

⑥ **その他**：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（D：情報通信分野）

1. 調査分野：情報ストレージ（2014 年 9 月 16 日調査）

2. 調査対象者：近藤 祐治（秋田県産業技術センター 研究員）

① **社会的・科学的課題**：流通する情報量の急激な増大に伴い大容量ストレージに対する需要は世界中で高まっており、ハードディスクドライブ(HDD)の更なる高記録密度化が求められている。従来の垂直記録方式を用いた場合の HDD の面記録密度は現在、約 900 Gbit/in²であるが、1 Tbit/in²を超えるにはトリレンマ問題（信号雑音比、飽和記録、長期保存性の 3 要件）

の克服が重要課題となっている。

② **研究内容**：HDD における産学連携コンソーシアムである SRC（情報ストレージ研究推進機構）では 4 Tbit/in² の記録密度達成のための複数の記録方式に関する技術提案を行っている。ただし、いずれの記録方式においても媒体側（微細加工媒体も含めて）では個々の磁性粒子の磁気特性の均一性を高めることが重要である。また、規則合金を含む材料開発においては、微小粒子の結晶構造、配向性の評価が重要である。

③ **放射光の貢献**：上記課題に対して、ナノビームを用いた分析(構造解析、元素選択 MCD など)により課題解決が期待される。ナノスケールの粒子毎や積層構造の層毎における磁気分析、構造解析、化学状態分析ができれば、次世代媒体開発にとって極めて有用である。さらに、放射光は様々な環境下での利用が可能であり、高温下での分析だけでなく、温度特性評価、信頼性評価なども期待できる。またピコ秒オーダーでの時分割測定と組み合わせることにより、高周波磁気素子の駆動状態の様子を実時間スケールにて評価できる可能性もある。

④ **ビーム性能**：上記課題解決のためには、10 nm 以下の空間分解能が必要である。この空間分解能実現のためには、ビームサイズ自体を 10 nm 以下にする方法と受光側で 10 nm 以下の空間分解能を出す方法があるが、次世代放射光施設においては前者を目指してもらいたい。集光光学系は Fresnel Zone Plate や Schwarzschild ミラーのような高精度に集光できる X 線光学素子が必要である。エンドステーションへの要望としては、磁気分析と構造解析が同一試料ステージ上で行なえることが望ましい。さまざまな温度環境下(He 温度から 700 K 程度までの範囲)で測定が行えることも必要。

運用システムについては、地元企業への調査では、放射光のメリットが十分に周知されておらず、利用に際してハードルが高い、との印象を持たれている。また測定代行サービスの存在も十分に知られていない。使用料に関しては、TEM 観察の外部委託サービスと同程度の料金(¥50 万/2～3 水準)であれば問題ないという意見があったが、放射光に対する理解が十分でないため、需要の掘り起こしから分析結果の解析、解釈まで含めて、中小企業が利用しやすい仕組みを作ることが重要である。調査を行った範囲において、材料系の企業では潜在需要が相当にあると思われる。

⑤ **メリット・デメリット**：10 nm 以下のビームサイズが実現できれば、様々な分野において従来不可能であった多くの分析を可能とし、数多くのブレークスルーをもたらすことが期待される。まだ世界的にも実現されていないが、是非とも挑戦して頂きたい。さらに、この仕様実現のためには、光学素子やステージの高精度化、検出系の高感度化などが高いレベルにて要求されるため、測定器、機械加工、制御ソフト各社ならびに関連企業の技術力向上にも繋がり、様々な波及効果も期待される。

⑥ **その他**：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（D：情報通信分野）

1. 調査分野：半導体・相変化 RAM（2014 年 9 月 18 日調査）
2. 調査対象者：小池 淳一（東北大学 工学研究科 教授）

① **社会的・科学的課題**：既存材料やプロセスの改良による半導体の微細化は数年内に限界に達し、半導体デバイスの高集積化、高速化、低電力化を進展することが困難になる。3次元実装は一つの解であるが、新材料による根本的な解決が必要と思われる。一方、メモリにおいても高速性、低消費電力の観点で、次世代 RAM（相変化、抵抗変化、スピン）の実用化が急がれる。

② **研究内容**：半導体を現状のスケーリングで性能アップを図るためには、本質的に高速動作可能な化合物半導体（InGaAs）やゲルマニウム（Ge）などに代替することが必須であり、そのためのプロセス、酸化物、配線に関する研究が重要である。配線材料に関してもカーボンナノチューブやグラフェンを用いた多層配線の研究が進められているが、コンタクト抵抗の制御が重要である。次世代メモリとして期待されている相変化型メモリにおいては、書換え耐性や長期信頼性の高い新材料の開発が必要であり、従来材料（GeSbTe）に代わる合金（GeCuTe）や超格子（GeTe/SbTe）などの研究が進められている。

③ **放射光の貢献**：次世代半導体デバイスにおいて、配線と半導体の電氣的接触状態と界面構造を解明し、特性との関連を理解することが重要であり、放射光を用いた XANES、EXAFS などの各種分析にはそれらの手段を提供し得るものである。具体的には、多層配線において 1～2 nm の厚さを有する構造体やダメージ層が存在しており、それら層の構造や組成を同定することができれば、改善への方策を立案することができる。

相変化材料においても、新材料開発には構造解析ならびに化学状態分析は不可欠であり、同様に放射光を用いた XANES、EXAFS などの各種分析は重要な手段である。

④ **ビーム性能**：上記課題解決のためには、10 nm 級の集光ビーム、ピコ秒パルスによるダイナミクス、原子レベルでの深さ分解測定が必要である。

一方、放射光の利用には非常に敷居が高く感じられ、どのような測定ができるのかも周知されていないことが多いように感じられる。SPring-8 の例では、年 2 回の研究公募では、タイムリーな測定ができない。産業利用まで考えると、民間分析会社なみのサービスを提供（試料加工、分析、解析、説明までをセット）することが今後は必要になるのではないかと考える。

⑤ **リット・デメリット**：上記課題に対して、放射光施設無しでは有意な解析結果が得られないと考える。

⑥ **その他**：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（D：情報通信分野）

1. 調査分野：海外動向・スピントロニクス（2014 年 10 月 8 日調査）
2. 調査対象者：廣畑 貴文（英国 York 大学 教授）

① **社会的・科学的課題**：急速に進化する情報化社会、さらには地球規模で深刻化するエネルギー・環境問題に対処していくには、特に電子デバイス分野において、省電力素子や電力最適配分回路の開発、コンピュータ機能の単一基板上へ集約化、熱や振動などを有効利用でき

る新素子・回路の開発、希少元素を置換可能な新材料の開発が求められる。

② **研究内容**：具体例としては、データリフレッシュ操作が不要な高密度不揮発メモリの開発、上記メモリ及び演算回路を高速データ伝送線で接続した素子の設計・開発、高効率な熱電素子に向けた新材料探索・素子設計、希少元素を代替可能な新材料の探索、などが挙げられる。

③ **放射光の貢献**：例えば、高密度不揮発メモリの構成単位であるナノ磁性体の磁気構造・高速ダイナミクスの評価、熱電素子などに用いる酸化物などの構造解析、新規合金材料等の詳細な構造解析及び磁気構造の評価などにおいて重要な貢献をするものと期待される。

④ **ビーム性能**：①の課題に対応するにあたり、現在の放射光施設では以下のような問題がある。まず、結晶構造評価に関しては、現状の KEK ビームラインなどでは基板由来のピーク強度が強過ぎるため、広い検出帯域を持つ光学系の開発が望まれる。磁気構造評価に関しては、強磁性体の原子レベルでの磁気モーメント評価技術は普及しているが、反強磁性体を評価できる設備、例えば XMLD を有する施設が少ない。こうした問題の緩和を図ると共に、放射光によるこうした評価が手軽にルーチンで行えるような運営を期待している。

⑤ **メリット・デメリット**：利点は、国内で材料評価を完結させることができるので、より素早い材料開発へのフィードバックが得られ、材料分野での世界的なリーダーシップが期待できること。欠点としては、他の手法を用いた低精度の材料評価もしくは海外での評価を行うことになるので、材料開発で世界的に後れをとるものと考えられること。また、こうした新たな手法が国内に知見として蓄積されないことから、将来にわたり人材欠乏が見込まれること。

⑥ **その他**：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（E：基礎科学分野）

1. 調査分野：物理（実験）（2014年9月2日調査）

2. 調査対象者：辛 埴（東京大学 教授）

① **社会的・科学的課題**：

- ・基礎科学の進展による応用研究との境界領域の消失。
- ・スペクトロスコープの発展による新物質開発の進展。
- ・中性子、FEL、レーザーなどの量子ビーム研究同士の共同研究の推進。
- ・上記に対応する人材育成のための、大学・施設等の人材教育の整備。

② **研究内容**：

- ・放射光などの量子ビームの進歩とスペクトロスコープの進歩による高分解能化の推進。
- ・放射光を用いた電子構造の研究。具体的には以下の通り。
- ・試料周りの技術開発：とりわけ、その場観測のオペランド分光の発展。
- ・顕微分光の技術開発：ミクロな状態の物質の電子状態の解明。
- ・利用しやすい研究施設の整備も必要。

③ 放射光の貢献：放射光は物質科学における基礎科学と応用科学の両方で、基本的で汎用的なツールになる。

④ ビーム性能：

- ・外国に比べて大幅に後れている分野であるので至急立ち上げるべき。
- ・諸外国にある中型高輝度光源と同じようなもので十分であるが、汎用ツールとして一刻も早く立ち上げるべき。
- ・2.0 GeV - 3.0 GeV クラスの使いやすい光源。
- ・1 nm クラスのエミッタンスを持つ高輝度であれば十分。
- ・500 mA クラスの電流値。
- ・24 時間、365 日運転によって、学会、産業界の要望に応える。
- ・必要なときにすぐに使えるような運用体制。
- ・可能であればアクセスの良いところが望ましい。

⑤ メリット・デメリット：

- ・高輝度中型光源は、基礎科学と応用科学の両方で基本的なツールとして考えるべき。
- ・整備されない場合は日本のサイエンスや先端的な産業育成はほとんど終わったも同然。近隣の諸外国に比べても大幅に立ち後れて取返しがつかないことになる。
- ・人材育成が途中で途切れるようなことがあってはならない。
- ・SPring-8 や XFEL などのように最先端も重要であるが、裾野を広げなければ最先端も立ち枯れてしまう。
- ・大学の講座における人材育成が重要。現状は放射光のソースが足りないために講座数が不足しており、このままでは人材育成に支障が出始めている。

⑥ その他：オールジャパンとしての運営を期待。

以上

ヒアリング調査個人報告書（E：基礎科学分野）

1. 調査分野：物理（実験）（2014 年 8 月 28 日調査）
2. 調査対象者：八尾 誠（京都大学 教授）

① 社会的・科学的課題：

1. 基礎科学内における分野間連携：宇宙物理学と素粒子物理学の連携は既に行われている。物性分野においても「量子現象に始まり巨視的現象に至る」大スケールの階層縦断型科学の構築が望まれる。
2. 基礎科学と実用科学等との強結合：例えば、物理学の成果を地球科学へ応用するなど。
3. 一般社会への啓蒙：例えば、原発事故や研究不正に対し、一般社会が情緒のみに支配されないように、科学的思考力を普及させる必要がある。

② 研究内容：

1. 大スケールの階層縦断型科学としての生命科学（典型例：光合成）。

2. 光照射などの擾乱に誘起される相転移ダイナミクスの研究 (物性分野)。
3. 液体の物性解明 (古代ギリシャから「万物の根源は水である」(タレス) と言われながら液体の物性は未解明)。

③ **放射光の貢献**：相転移ダイナミクスの研究のための、超短パルスと超可変ディレイ時間を組み合わせたポンプ・プローブ実験 (電子励起の時間スケールはサブフェムト秒。原子の微視的運動はサブピコ秒。更に巨視的現象は概ねマイクロ秒以上。この広い時間スケールを網羅する観測手法が必要)。

④ **ビーム性能**：③の研究のために自由電子レーザーの更なる発展が強く望まれる。そのためには、放射光の電子インジェクターの後段に軟 X 線自由電子レーザーへの拡張ができる機能が必要。様々な環境下(高圧など)での実験や、様々な試料(液体を含む)を対象とした実験が可能なエンドステーション

⑤ **メリット・デメリット**：放射光施設などの大型設備の整備・共用は、科学技術の発展や人材育成の必要条件ではあるが、十分条件ではない。その施設を使いこなす若手研究者が居なければ無用の長物になる。これを回避するには中等・高等教育も含めた底上げが必要。

⑥ **その他**：厳しい管理下での放射線 (=量子ビーム) 利用の有用性を一般社会に示していくべき。確実な実験データに裏付けされることが、研究において如何に大切であることを示していくべき。

以上

ヒアリング調査個人報告書 (E：基礎科学分野)

1. 調査分野：物理 (理論) (2014 年 8 月 4 日調査)
2. 調査対象者：吉田 博 (大阪大学 教授)

① **社会的・科学的課題**：

- ・科学的興味を出発点とする研究・課題。
高温超伝導体のメカニズム解明、電子間相互作用の強い物質による新機能創出、ナノ構造新物質量子相の研究。
- ・社会の抱える問題を解決するための課題 (エネルギー・環境・少子高齢化・安全安心問題)。
高効率創・省エネルギー物質、環境調和物質、生体調和物質などの物質開発。
次世代ナノエレクトロニクスの開発、自己組織化ナノ超構造の創製法の開発。

① **研究内容**：

- ・スピントロニクス (高機能磁性体、スピンの電場制御、巨大物性応答、スピノダルナノ分解)。
- ・高効率太陽電池 (自己修復・自己組織化ナノ超構造・自己生存キャリア、高効率エネルギー変換 (25% 2016 年、 $\geq 50\%$ 2030 年)、電子/正孔高速ナノ分離、多重励起子創成法)。
- ・高効率熱電材料 (高性能指数($ZT \geq 5$)の実現、電流/熱流の実空間分離)。

- ・ナノ触媒（自己組織化ナノ粒子、自己再生機能、人工光合成、大理石相・昆布相）。
 - ・超高温超伝導体（ $T_c \geq 1000$ K、負の有効電子間相互作用、純粋な電子論的引力機構）。
- 上記の研究は全て環境調和型の材料開発を目指す(重金属・貴金属・希土類フリーなど)。

③ 放射光の貢献：

- ・高分解能の電子状態や準粒子の電子分光による新高温超伝導体などの新物質開発への貢献。
- ・分光学的手法を用いた物理機構や化学反応機構の解明による新物質創製への貢献。
- ・ナノスケールの構造解析によるナノ超構造の創製への貢献。
- ・時間分解分光を用いた反応ダイナミクス解明によるナノサイエンス・ナノテクノロジーへの貢献。

④ **ビーム性能**：電子状態・準粒子スペクトルを高分解能で解析できるビームライン。反応環境下でのナノ構造におけるダイナミクスを観測するナノ分光ビームライン。ナノビームを用いた高分解能スピン分極電子分光ビームライン。中性子回折の限界を補填する高分解能構造解析ビームライン。

⑤ メリット・デメリット：

- ・メリット：高効率創・省エネルギー化(太陽電池、熱電材料、燃料電池、触媒、超伝導)、環境調和（通常元素代替高機能化）、生体調和・高齢化福祉医療（生体調和マテリアル、超五感マテリアル）、安全安心保障（超高感度センシング、超巨大物性応答、安全通信）などの社会的課題解決への寄与。次世代ナノエレクトロニクス(省エネルギーデバイス、スピントロニクス、モルトロニクス、クオントロニクス、アトムトロニクス)の発展。
- ・デメリット：現産業の強化と新産業創成の遅延。エネルギーを巡る国際紛争への危機。国際競争力の後退。少子高齢化への対応の後れと国民福祉の後退。第二級国家への転落。

⑥ **その他**：工業化社会から知識社会への産業構造転換のため、原子レベルの基本法則である量子力学に立脚したデザイン主導による物質開発が重要。デザイン→実証→放射光による分光学的解析→機構解明→デザインによる更なる高度化→実証、というプロセスを繰り返すスパイラルによる研究の進展が不可欠。

以上

ヒアリング調査個人報告書（E：基礎科学分野）

1. 調査分野：化学（2014年8月20日調査）
2. 調査対象者：有賀 哲也（京都大学 教授）

① 社会的・科学的課題：

- ・省エネ、省資源、高機能の材料・デバイス開発の基礎となる新材料の探索。
- ・多層構造や自己組織化構造など構造複合化による新機能の創出を目指す界面研究。
- ・材料の具体例：次世代スピントロニクス関連材料。とりわけ半導体上のスピン軌道相互作用の強い金属など。

② 研究内容：

- ・物質の3次元解析：組成、構造、電子状態の高空間分解能3次元解析。
- ・埋もれた界面における組成、構造、電子状態分析。
- ・界面の伝導性・輸送特性を生かした新規機能性の探索。
- ・物質材料開発と界面研究および物質三次元解析が、お互いフィードバックしながら発展することが重要。

③ 放射光の貢献：軟・硬X線光電子分光および高分解能光電子分光を用いた物質の電子状態の深さ分析と埋もれた界面の分析において放射光が貢献。

④ ビーム性能：

- ・ナノビーム（ビーム径 < 100 nm）を用いた微小領域の分光が可能なエンドステーション。
- ・ナノビームにより、物質材料の空間的な不均一性などについての情報が得られる。
- ・XAFS や MCD などの実験設備。
- ・高分解能光電子分光エンドステーション。とりわけ、スピン分解角度分解光電子分光実験装置。その他、放射光のパルス性を生かした時間分解測定を行うための実験装置。

⑤ メリット・デメリット：超薄膜、多層膜、金属有機構造体等の材料に関連した基礎科学の振興、材料、機械、化学工学、電子工学等我が国の基幹産業の活性化、人材育成等に大きく貢献。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（E：基礎科学分野）

1. 調査分野：化学（2014年8月21日調査）
2. 調査対象者：岸本 直樹（東北大学 准教授）

① 社会的・科学的課題：

- ・我が国の合成化学は世界レベルであり、化学者の技術は国際的に見ても総合的に高い水準にある。このような状況のもとで、とりわけ以下の課題を推進すべき。
- ・有機金属化合物の高機能化。
- ・付加価値の高い物質の生産を目標とした、有機金属化合物を機能や性質を明らかにした上での新規合成。

② 研究内容：

- ・有機金属化合物の幾何構造と電子構造、反応性を明らかにする理論的・実験的研究。これを実現するための、凝縮相での高精度な電子状態理論と化学反応理論の構築。同時に実験研究から検証作業を行う共同作業。
- ・有機金属化合物を創薬などに生かすための生体内における有機金属化合物や金属イオンのリアルタイム観測。

③ 放射光の貢献：

- ・ X 線回折などによる有機金属化合物の結晶解析、光電子分光などを用いた内殻および価電子帯の電子構造の解明。溶液内での状態変化、タンパクなどとの相互作用の解明（リアルタイム観測）、などの全てに於いて放射光が大きく貢献。
- ・放射光施設がプラットフォームとなり、理論と実験の共同研究を進めることが極めて重要(良いマネジメントが必要)。

④ ビーム性能：

- ・ 特に第 3 周期の金属原子にとって重要な、光エネルギー数 keV の硬 X 線から軟 X 線にかけての領域のパルス光源が今後最も必要(現在の XFEL は光子エネルギーが高すぎる)。
- ・ パルス幅: 化学反応の時間スケールであるフェムト秒よりも短い時間幅が望ましい。
- ・ 集光度(ビームスポット)の可変性: 気相分子を対象とした場合、輝度は高ければ高いほど良く、画像観測のことを考えると集光されている方がよい (注: 10^{13} W/cm^2 以上になると、分子配向、多光子イオン化、電子再衝突、クーロン爆発等の他のプロセスが発生)。
- ・ 測定のオート化: 合成化学者が気軽に利用できる環境が望ましい。測定者を出張させることなく試料を送付するだけでデータを返却できる環境が理想的。

⑤ メリット・デメリット：

- ・ 物理系や化学系の研究室におけるレーザーは殆ど輸入品であり、我が国の科学技術の高度化に寄与しているとは言えない一方で、放射光施設はかなり国産品で賄うことが可能。この点は、海外技術への依存が継続するという意味で整備・共用されなかった時のデメリットとなる。
- ・ 放射光施設は、運営する人材の育成、利用する人材の育成にも大きく寄与する。研究環境の異なる大学の学生達が高度な装置を用いて実験を集中的に行うことができるメリットは計り知れない。

- ⑥ その他: 測定者の立場から、放射光施設の近隣に、宿舎、食堂、コンビニなどの充実が望まれる。ビームタイムの予約が半年前では不便。例えば 1 ヶ月程度先の予約も可能になるように、フレキシビリティを上げて欲しい。

以上

ヒアリング調査個人報告書（E：基礎科学分野）

1. 調査分野：生物（2014 年 9 月 11 日調査）
2. 調査対象者：沈 建仁（岡山大学 教授）

- ① 社会的・科学的課題: 地球環境問題(エネルギー問題、温暖化など): 太陽光・風力・水力発電などの代替エネルギー源の利用はまだ不十分のため、太陽光の高効率利用が必要(二酸化炭素の放出を伴わないことから温暖化による地球環境問題の抑制にも貢献)。高齢化に伴う健康問題: 各種疾病の有効な治療法の開発や新薬の開発。

② 研究内容：

- ・太陽光の高効率利用：現有の太陽電池の高効率化・高寿命化以外の画期的な方法である、人工光合成系による水からの水素や有機物の生成、及び光を利用した二酸化炭素の還元。
- ・人工光合成系の構築のための高効率触媒の開発(可視光を利用した水分解の有効な触媒は、現在自然界で各種藻類や緑色植物が行う光合成において働いており、その構造や反応機構の解明が人工触媒の合成に重要な知見を提供する)。
- ・合成された人工触媒における活性評価。
- ・疾病治療関連：作用ターゲットに特化した新薬の開発。作用ターゲットの構造・働きを突き止めるためには、タンパク質の構造解析が重要。

③ 放射光の貢献：

- ・クリーンエネルギーの創成：人工光合成には、まず自然界の光合成の原理解明が必要。自然光合成において水を分解する触媒は巨大な膜タンパク質中に結合しているため、放射光を利用したタンパク質の高精度構造解析や、反応中間体や改変体の構造解析が重要。
- ・創薬関連：疾病関連の多くの重要なタンパク質、特に膜タンパク質の構造や反応ダイナミクスは未解明。放射光によるそれらの構造解析と、立体構造に基づく創薬が期待。

④ ビーム性能：

- ・波長領域：短波長($\sim 0.7 \text{ \AA}$)から長波長側($\sim 3.0 \text{ \AA}$)をカバー。
- ・ビーム：マイクロフォーカス(可能ならナノビーム)。
- ・高輝度実現のためのアンジュレーター光源。
- ・PF、SPring-8の停止期間中におけるビーム使用(既存施設との使い分けができれば便利)。
- ・検出器：高速のピラタス検出器。時間分割X線構造解析に対応可能。
- ・コンパクト・超高速XFELへ拡張できるような設計。

⑤ メリット・デメリット：(メリット)多くのユーザーからのフィードバックを得ることができ、施設の改良につながるばかりでなく、広い分野の科学技術・学術の発展、人材育成、国際化などに貢献できる。(デメリット)長期的にはユーザー数の制限によって利用する分野が限定され、学術の発展、人材育成、国際化などへの貢献も限定的になる。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（E：基礎科学分野）

1. 調査分野：生物（2014年8月27日調査）
2. 調査対象者：大串 隆之（京都大学 教授）

① 社会的・科学的課題：

「遺伝子から生態系までを統合する研究分野の創成」

20世紀において生命の分子基盤に基づくミクロ生物学と、個体以上の生物現象を扱うマクロ生物学がほぼ独立に発展した。生物進化は、個体・集団・群集・生態系という複数の生物学的階層の特徴を決める原動力であると同時に、これらすべての階層における生物過程

の影響を受ける。生物進化と生態現象の関係を理解するためには、生物階層間をつなぐ相互作用に着目する必要がある。21 世紀の生物学のフロンティアを開拓するためには、マイクロ生物学とマクロ生物学を融合した新たな生物学の創成が不可欠である。

「生物多様性の維持創出メカニズムの解明」

人類が解決すべき緊急の課題として、地球環境問題、とりわけ「生物多様性の保全」が大きくクローズアップされている。この生物多様性は、生物種の多様性だけでなく、種内の遺伝的多様性・表現型多様性、相互作用多様性、生態系多様性のようにそれぞれの生物学的階層に対応する多様性の要素からなっている。生物多様性の創成と維持のメカニズムの理解なしには、生物多様性の保全はなしえない。これら生物学的階層を統合する観点から、生物多様性の創成と維持のメカニズムの解明のために新たな研究アプローチの確立が不可欠である。

② 研究内容：

1. 「遺伝子から生態系までを統合する研究分野の創成」

2. 「生物多様性の維持創出メカニズムの解明」

（1）異なる生態系間の生物多様性の繋がり解明

1-1. 地上生態系と地下生態系の相互作用

1-2. 水域生態系と陸域生態系の相互作用

（2）地球規模の環境変動が生物多様性の維持創出メカニズムに与える影響の解明

地球温暖化：温暖化による生物の形質進化が群集構造と生態系機能に与える影響
生物分布の変化による生物群集の構造変化とそれが形質進化に与える影響

（3）遺伝子から生態系までの各階層に跨がるメガデータの解析手法の開発

計算機シミュレーションの技法の開発

多変量解析の新たな手法の開発

③ 放射光の貢献：高輝度放射光は、マイクロ生物学における生体分子やタンパク質の構造決定などには重要な役割を果たす。2 (3) のメガデータの解析手法の開発に関連して、放射光で得られた生体分子などの複雑な回折パターンから効率よく結晶構造を決定するための解析手法の発展が必要である。放射光データの解析手法の発展などを通して生物学的階層の統合が進むことが望ましい。

④ ビーム性能：マイクロ生物学に関連して、高精度・高効率で生体分子やタンパク質などの構造解析を行える X 線回折のためのエンドステーションが必要。

⑤ メリット・デメリット：なし。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（E：基礎科学分野）

1. 調査分野：地学（2014 年 9 月 11 日調査）

2. 調査対象者：大谷 栄治（東北大学 教授）

① 社会的・科学的課題：地球惑星科学分野：太陽系の惑星内部の研究・太陽系外の惑星の研究が惑星探査、天文観測との連携によって進む。生命の起源との関連で、地球外生命起源の検証が進む。

環境科学分野: 温暖化にともなう大気、海洋、地表との相互作用が変化し、新たな防災基準、環境基準が必要になる。これまでの経験とは異なる災害への対応が必要になる。振興国の工業化による大気・土壌汚染の深刻化に対応するための研究の推進が必要になる。

② **研究内容** :

- ・極端条件（超高压、超高温、超高磁場、超臨界）などの複合極限における物質の状態と性質に関する実験的・理論的研究。
- ・地球および惑星系における大気・（海洋を含む）・表層相互作用の研究。大気・海洋・地表相互作用、地震・火山現象の大規模シミュレーションによる災害予測。温暖化にともなう地球表層現象の変動に関する予測。
- ・大気・土壌汚染の特定と除去方法の研究。原子力エネルギーの利用にともなう廃棄物処理方法の開発、無害化の研究。

③ **放射光の貢献** : 放射光における様々なX線回折、散乱、分光学的研究は、上記の研究の推進に不可欠。特に、太陽系を形成する天体の90%以上が固体ではなく流体であるので、極限条件での流体の諸性質の解明に、強力な放射光源は不可欠。

④ **ビーム性能** :

- ・硬X線領域 (20 keV - 70 keV): 超高压、超高温の条件にある液相やアモルファス相の微小試料の回折実験のための高輝度光。超高压下において微小領域のX線回折を行うためのミクロン以下のビーム径。
- ・軟X線領域 (10 keV - 20 keV): 超高温 (3000 K 以上)、超高压(300 GPa 以上)における極端条件でのメルトやガラスにおける微小領域のX線分光のための高輝度光。

⑤ **メリット・デメリット** : (デメリット) 国内の研究者は、海外の放射光施設施設を借用することになり、国外の科学者との協力の必要性により世界に先駆けたわが国独自の成果を出すことが不可能になる。科学の発展と、この分野の人材育成に大きな後れをもたらす。

⑥ **その他** : 既存の施設が運用を終え、それに変わる光源の新設が進まないとなると、わが国の多くの研究者にとって、現在行われている放射光実験が不可能になり、そのデメリットははかり知れない。既存の放射光光源を上回る性能をもつ中規模光源の建設は不可欠である。

以上

ヒアリング調査個人報告書 (E : 基礎科学分野)

1. 調査分野 : 地学 (2014 年 9 月 25 日調査)
2. 調査対象者 : 入船 徹男 (愛媛大学 教授)

① **社会的・科学的課題** : PF と SPring-8 で展開されてきた地球科学の研究は世界の放射光高圧科学を牽引してきた。そこで培われた技術は、地球や惑星の内部の研究や高压下の物性科学の一層の進展はもとより、新物質や新材料の開発にも応用されるべきフェーズになってきており、下記の課題が想定される。

- 1) マントルの深部の動的挙動(マントル対流、プレートの沈み込み、深発地震の成因)の解明。
- 2) 下部マントル・核の化学組成の解明。
- 3) 木星型惑星や系外惑星の内部探査。
- 4) マグマの性質とマントル最深部での融解現象。
- 5) 超高压実験の物質科学・材料科学への応用。

② 研究内容：

- 1) 変形破壊実験：温度圧力領域の拡張と、変形・破壊現象のその場観察。
- 2) 弾性波速度の精密測定実験：超音波法、非弾性散乱法、ブリルアン散乱法など、多様な手法と超高压実験を組み合わせた測定の高精度化、温度圧力領域拡張。
- 3) より高い圧力発生(目標~700 万気圧)を目指した技術開発：焼結ダイヤモンドアンビルやナノ多結晶ダイヤモンドアンビルを用いた、圧力領域の拡張。
- 4) 高温高压下での融体の構造や粘性等の測定：高压下でのより高い温度発生と、構造・物性測定のための技術開発。
- 5) 高温高压を利用した超硬材料、超伝導物質、光学材料など開発：マルチアンビル装置を用いた多様な物質の構造相転移・物性測定。

③ 放射光の貢献：高压容器内の微小試料からの情報を得る必要上、放射光の強力X線源の利用は不可欠。これまでは高压下での回折実験が中心だったが、今後、イメージング、分光分析、時分割測定、その他多様な物性測定との組み合わせによるX線その場観察に、放射光が貢献。

④ ビーム性能：

- ・マルチアンビル装置などの大型高压装置(LVP)
- ・高エネルギー側まで(~150 keV)の白色光(できれば wiggler)
- ・アンジュレータ単色光に切り替え可能(ビーム径: ~1 mm - 1 cm)
- ・ダイヤモンドを利用する圧力セル(DAC)
- ・アンジュレータ光源：40 keV 程度までエネルギー可変(ビーム径: 1 mm かそれ以下)
- ・LVP と DAC に共通して
- ・高コヒーレント光(イメージング等)、(時分割測定：1 秒~ピコ秒レンジ)

- 1) 大型 LVP 用のハッチと LVP の更新。
- 2) 物性測定のためのアース・電氣的ノイズ除去。
- 3) DAC 用高温・低温・強磁場発生、物性測定用装置・光学系など。
- 4) 高速・高分解能の測定系。
- 5) オフラインでの分析装置・試料準備室・工作装置。
- 6) ビームラインサイエンティスト、ポスドク、技術補佐員等の十分な配置。

⑤ メリット・デメリット：諸外国において新光源施設の建設が進み、高压実験の可能な多数のビームラインが整備される中、日本が取り残されていくなれば、これまでの当該分野における日本の優位性は失われることになりかねない。光源のアップグレードだけでなく、ビームラインの整備・高度化・維持も含めて対応する必要がある。

- ⑥ その他：喫緊の課題とされる中型高輝度光源だけでなく、回折限界光源への期待も高い。
以上

Report of survey for needs of a new synchrotron radiation facility in Japan (E: Field of basic science)

1. Survey field: Oversea trend (Aug. 23, 2014)
2. Person: Han Woong Yeom (Center for Artificial Low Dimensional Electronic Systems, Korea, Professor)

(1) The important social and/or scientific problems to be solved in the next 5-10 years in the scientific field of surface physics

- Breakthrough in the technological application of 2D materials (graphene/topological insulators/hetero 2D crystals/surface 2D electronic systems) for novel electronic devices

(2) Research subjects which have to be carried out to solve the problems given in question (1)

- Materials synthesis/engineering
- Search for new emergent 2D phases
- Design new device platforms

(3) Contribution of synchrotron radiation (SR) sources to solve the subjects listed in question (2)

- Characterization of materials for material synthesis/engineering
- Clarification of the electronic properties for 2D phases to search new emergent 2D phases.

(4) Performances necessary for the SR source to solve the subjects listed above

- Nanoscale probe of atomic, electronic, and spin structure of materials
 - 4-1) Specification of beam: beamsize down to few nanometers, brilliance as high as possible
 - 4-2) Insertion device and end station: Nanobeam ARPES station with spin detectors
 - 4-3) How SR facility should be operated in terms of organization point of view:

- i) Very high quality beam lines, end stations, and technical staffs to develop these.
- ii) Very high level scientific teams (in-house + outside collaborations) to perform really good science.
- iii) Very good scientific leadership. Normally, Japanese SR sources lack in the points ii) and iii).

(5) The merit if the synchrotron radiation facility specified in question (4) is prepared and the demerit if it is not prepared.

- The nanoscale electronic and spin probes such as Nano spin ARPES cannot be provided outside of advanced (ultimate) VUV synchrotron radiation facility. Without this kind of probes, we will have huge problem in the scientific and technological mission listed in (1).

Report of survey for needs of a new synchrotron radiation facility in Japan (E: Field of basic science)

1. Survey field: oversea trend (Sep. 5th, 2014)
2. Person: Jianwei Miao (University of California, Los Angeles, USA, Professor)

(1) The important scientific problems to be solved in the next 5-10 years in the field of coherent x-ray imaging.

- i) 3D coherent X-ray imaging of materials at atomic resolution. There are already a few ways of imaging atomic structures, such as scanning probe microscopes, transmission electron microscopes, and crystallography, but each has its own limitations. Such limitations can in principle be overcome by coherent diffraction imaging (CDI). CDI has been applied to study a broad range of samples in physics, materials science, chemistry and biology. With the more brilliant synchrotron source, it is anticipated that the resolution of CDI can be improved to the atomic level.
- ii) Bridging the gap between optical and electron microscopy. There is an important gap between optical and electron microscopies in terms of spatial resolution, sample thickness, labeling requirement, contrast mechanism and quantitative capability. With more advanced SR, cryogenic CDI (typically down to liquid N₂ temperature) can be used to bridge the gap between optical and electron microscopy in bio-imaging, which is expected to have broad impact to biology and life science.

(2) Research subjects which have to be carried out to solve the problems given in question (1)

- i) Development of more brilliant SR sources with coherent flux 50-100 times higher than the current 3rd generation sources.
- ii) Development of dedicated CDI beamlines which preserve the coherence of the X-rays.
- iii) Sample preparation, computation and algorithm development, and training young scientists.

(3) Contribution of synchrotron radiation (SR) sources to solve the subjects listed in question (2)

Newer generations of SR sources are ideally suitable for the CDI experiments for the following reasons.

- i) The coherent X-ray flux is expected to improve a factor of 50 - 100 by using new technologies.
- ii) Pixel array detectors with single photon counting and a high dynamic range are under rapid development worldwide and can be readily implemented at the SR facilities.
- iii) Compared to XFEL, the newer generations of SR do not destroy the sample after single pulse and can be used to achieve 3D imaging of materials science and biological samples at high spatial resolution.
- iv) Several new SR facilities in the world have been developing CDI beamlines.

(4) Performances necessary for the SR source and the end station to solve the subjects listed above

- i) Coherent X-ray flux: 50 – 100 times better than 3rd generation synchrotron radiation.
- ii) Dedicated beamlines to preserve the coherence.
- iii) Dedicated scientists to work in the CDI field who should have experience in sample preparation, data acquisition and image reconstruction.
- iv) Detectors are very important.

Required specification for beams and beamlines

- i) Photon energy: a soft X-ray coherent X-ray imaging beamline (500 eV - 3 keV) and a hard X-ray imaging beamline (3 keV - 10 keV).
 - ii) Brilliance: as high as possible.
 - iii) Beam size: ranging from one to tens of microns (mainly determined by the typical sample size).
- Required insertion devices and beamline optics, including end stations.
- i) Undulators are needed for CDI beamlines.
 - ii) The coherent X-ray beam needs to be focused to a spot varying from one to tens of microns.
 - iii) Grating and crystal monochromators for the soft and hard X-ray beamlines, respectively.
 - iv) Cryogenic chambers for bio-imaging at the end station.
 - v) End station of 20 – 30 meters length (related to the oversampling requirement, the sample size, and the pixel size).

(5) The merit if the synchrotron radiation facility specified in question (4) is prepared and the demerit if it is not prepared.

- i) Prof. Tetsuya Ishikawa at SPring-8 has set a very good example to establish a strong relation between SPring-8 and the industry.
- ii) Internationalization can still be improved for the Japanese SR community.
- iii) It may be important to hire more foreign scientists at the Japanese SR facilities.

ヒアリング調査個人報告書（F：産業利用分野）

1. 調査分野：創薬（2014年9月19日調査）
2. 調査対象者：半沢 宏之（第一三共R Dノバーレ株式会社 グループ長）

- ① **社会的・科学的課題**：社会の高齢化に伴い国民医療費も増大、高度かつ効率的な医療への期待は大きいと考えており、その中でも医薬品の果たす役割はこれまで以上に重要になることから、生活習慣病、癌をはじめ現在では治療困難な難病などに対する医薬品開発への国民の期待は高いと認識しています。但し、過去30年の世界における医薬品開発競争の結果、開発の容易な医薬品標的は大幅に減少し、いろいろな意味で困難な課題が多いのが現状です。そのような中、最近では従来の低分子医薬品に加え抗体などの高分子量の分子を活用した医薬品も登場し、更に、再生医療、遺伝子治療なども着実に技術が進歩し、病気に応じた幅の広い治療法が進化中です。また、遺伝情報解析技術の進歩により患者個々の遺伝子を解析が可能になりつつある。個々人の遺伝状況に応じた個別化医療への道筋も見えてきています。
- ② **研究内容**：現在の医薬品開発における重要課題は2点あると考えています。

- ① 従来と異なる分子、高分子の医薬品設計が必要になります。これまでは低分子医薬品では調節できなかった細胞内のシグナル伝達を阻害・活性化できる新たな医薬品分子を創造することが必要です。
- ② 細胞内の中のシグナル伝達をよりシステムとして理解することが必要です。そのために実際の細胞内でのシグナル伝達を分子のレベルで解析することが有用です。具体的には個人の遺伝情報を迅速に解析し、疾病と個別の遺伝子の関連、医薬品への感受性と遺伝子の関連を解析・理解していくことが重要になります。

③ **放射光の貢献**：上で述べた科学的な知見が蓄積されることで医薬品開発のための必要条件が明確になってきますが、同時にその条件を満たす医薬品を実際に設計し作成することが必要になってきます。産業としては分子設計の効率化も必要になってきます。

医薬品の設計には標的となる疾病関連蛋白質の 3 次元構造情報が有益です。これまでも放射光の X 線結晶解析は貢献してきましたが、さらに微少な結晶での解析、スループットの高い解析、高精度の X 線結晶解析が可能になれば適用範囲は拡大していくものと期待しています。本当に X 線結晶解析が更にスループットが上がれば、放射光を用いて化合物スクリーニングも実現できると考えています。

また、蛋白質の解析だけでなく、細胞をそのまま解析できる手法が進歩することも期待しています。現在の生物学的な実験では、細胞を破壊して 1-2 個の蛋白質のみを分析しているのが現実で、細胞内での本当の働きを解析できる手法が望まれています。

④ **ビーム性能**：通常は蛋白質の構造解析をするためには原子レベルの分解能を必要とするため硬 X 線の波長が必要になると考えています。目の前の正直なニーズとしては①現在より更に微結晶での解析や高精度・高い分解能での解析を可能にする方向性と②スループットや使用性の向上の 2 つの方向性があると思っています。ただ、①は SACLA の開発・進歩を考慮すると、今回の次世代放射光施設に期待する役割ではないとも感じているので②のスループットの向上・使い勝手の良いビームラインを目指した方向性が良いのではと思っています。その場合、実際の測定では適宜リモートでの測定なども重要になってくると思っています。

⑤ **メリット・デメリット**：弊社は過去 10 年以上、筑波と播磨の放射光施設を活用してきました。最近では SPring-8 のマイクロフォーカス BL を使用したり、SACLA でのトライアルユースを一度使用させて頂きました。X 線の強度の観点では、SACLA より更に強い BL は多分役に立つと考えていますが、そこは XFEL が対応すべき課題かもしれません。現状、一定のビームタイムを使用させて頂いていますが、BL の数、1 企業が使用できるビームタイムは制限があり、微少結晶への対応とスループットの向上には、まだ改善の余地が十分あると感じています。

⑥ **その他**：日本の放射光施設は運転時間が海外より短いと聞いています。とくに夏と冬には SPring-8、PF の両方が同時に止まっているので不便を感じています。実際には私どもはその時期、海外の放射光施設を利用していますので、そこは放射光施設間の連携を良くして、少なくとも次期放射光施設ができれば、3 施設で調整して欲しいと思っています。現在 SPring-8 と PF では 実験設備が異なっている部分も多く、ユーザーにとっては決して使いやすい状態ではないと感じています。次世代放射光施設では更にばらばらの方法になることなく、良く協業して貰えると良いと思っています。製薬企業には放射光を使用する専門家はいないのでユーザーとして使用させてもらっており、今後もそれは変わらないと考えています。放射光

の専門家のサポートが必須です。放射光の専門家、サポートして貰える人材の育成とそのような専門家のキャリアをきちんと考えて頂くのも大事だと考えています。

以上

ヒアリング調査個人報告書（F：産業利用分野）

1. 調査分野：タイヤ（2014年9月25日調査）
2. 調査対象者：岸本 浩通（住友ゴム工業株式会社 課長）

① 社会的・科学的課題：

- ・自動車燃費の約20%をタイヤによってロスしており、2008年洞爺湖サミットにおいてIEA（国際エネルギー機関）よりタイヤで約5%の燃費性能向上が提言され、環境・省エネルギーに対して重要な問題となっている。
- ・上記背景から日本ではタイヤの燃費性能・グリップ性能を各タイヤメーカーが同一基準で評価し表示するラベリング制度が2010年より運用開始されている。また、アメリカ・ヨーロッパ・韓国でも同様制度の法整備が進められており、世界的にも重要な課題となっている。
- ・さらに重要なこととして、世界的なモータリゼーションが進む中、タイヤ需要は急速に高まっているが、原材料である天然ゴムなどの資源枯渇も懸念されており、ゴム材料の高強度化も重要な課題となっている。（世界中のゴム製品の約80%がタイヤであることから資源問題は重要）
- ・しかし、『燃費性能』『グリップ性能』『強度』の関係は、どれか1つの性能を向上させると他性能が低下する背反関係にあり、これら3つの性能を向上させるためには材料研究が益々重要となっている。

② 研究内容：

- ・タイヤ用ゴムは、ポリマーだけでなく補強性フィラー（カーボンブラックやシリカなど）・架橋剤・結合剤（ポリマー/フィラーを結合させる）や添加剤など10数種類以上の材料から構成された複雑系である。しかも、ゴムはアモルファスであることが難しさを生んでいる。
- ・また、階層構造形成過程において化学反応（架橋反応・架橋触媒機構（錯体形成）など）の解明も重要。
- ・これら材料がÅ～ミクロンオーダーまでの広い空間スケールにわたり階層構造を形成し複雑に関与することで機能を発現しているため、階層構造の解析が必要となる。
- ・さらに数ケタにおよぶ時間スケールで運動し物性（機能）を発現しており、ダイナミクス研究は今後重要となる。

③ 放射光の貢献：

1. 広い空間スケールを解析するためにはUSAXS/SAXS/WAXSは重要なポイント。
- ・ゴム変形時における構造変化を測定するためには時分割計測は必要
- ・異常分散USAXS/SAXS/WAXSは、構造解析的には重要。ゴムの場合は、ZnやSが重要。
→小角分解能はSPRING-8を利用し $d_{\max} = 24 \mu\text{m}$ は達成している。

→Near-field Speckle SAXS も技術検討を行っている。

・コヒーレンスも重要なファクター。通常の SAXS は統計的に平均構造が得られるが、ローカル構造が変わっても平均情報に埋もれてしまう。コヒーレント X 線を用いれば、試料の電子密度のフーリエ変換となり Speckle 像が得られるためローカル構造変化も捉えられる。但し解析をどうするかが問題（回折顕微鏡をしなくてはならない？）。

2. X 線イメージングも重要

・逆空間を解釈する上で X 線イメージングも有用な手法。空間分解能を考えると結像光学系は必須。

・放射光を用いた場合、単色 X 線を用いることができるので吸収係数から情報量が多く有益な方法。

・ソフトマターを考えるならば、位相コントラストイメージングも必要となる。但し、軟 X 線領域のイメージングができれば、ソフトマターでも X 線吸収量の違いだけで高コントラストな像が得られるという報告もある。

・多次元イメージングも必要（時間、XRD など）。

3. 化学反応を捉えるために時分割 XAFS (XANES + EXAFS) も重要。

・分光結晶による QXAFS 計測は、測定時間の短縮だけでなく反応のその場解析もできるため重要。

・軟 X 線領域（グレーティング）での QXAFS ができれば、有機反応も追跡でき応用はかなり広がる。アンジュレータ光源の場合、Gap を連動させながらできるかが課題（XANES 程度ならできるが、EXAFS 領域まで測定できる？）白色光を使った方法も考えられるが、ソフトマターのように有機物では X 線ダメージが大きく不利？

・XPEEM によるナノ XAFS やナノ ESCA も重要だが、ソフトマターのように帯電するような試料には不向きなことも多く、STXM も必要。

4. ダイナミクス計測

・広い時間スケールにおけるダイナミクス計測ができれば、揺動散逸の定理からマイクロ粘弾性を調べることができ、ゴムの機能メカニズムの理解および新材料創出が期待される。

・非弾性散乱のエネルギー分解能がさらに向上すれば、ソフトマターで重要な遅い時間スケールでのダイナミクス解析ができる？

→SPRing-8 を利用し XPCS は実施している。

④ ビーム性能：

①Top-up 運転は様々な面で有効なので蓄積リングの安定運転

②輝度は目標スペックで良いと思うが、検出器の種類によっては飽和したりするので回避策は必要。ソフトマターを考えるならば、X 線ダメージの回避は重要な課題。輝度だけでなく光源性能を十分に引き出すには検出器開発も必要では？

③軟 X 線 XAFS の測定高速化は必要。ソフトマターの場合は X 線ダメージが大きい。

④空間コヒーレンスは SPRing-8 よりエミッタンスが向上するので問題ないと思われる。但し、ダイナミクス計測を行う場合、時間コヒーレンスを稼ぐためにエネルギー分解能が必要になるが、光学系におけるビームの揺れの低減は必須となる

⑤エンドステーションはスループットを上げるために一定レベル以上の計測は簡単にできるようにしておく必要がある。一方、高度な実験を行うための自由度の確保も必要。

⑥運用システム

- ・低コスト化による有償利用料金の引き下げは必要（中堅企業を狙うなら必要）。
- ・半年毎の課題申請は良いが、中期的に継続しないと課題解決しない研究も産業界には多い（1回でも採択されず半年以上研究ができないことは、産業界では致命的）。

⑤ メリット・デメリット：メリット・デメリットは前述しているので、割愛する。

⑥ その他：

- ・ユーザーフレンドリーな利用システム（課題申請・実験補助・計測ソフトの統一化）も重要な問題だと思われる。

・東北放射光計画に関する資料で産業利用に関して「財力の有する大企業が専用ビームラインを利用しているのみ」という表現があったので補足する。大企業でも課題申請を行い共用ビームライン利用して成果を上げている。SPring-8の産業利用が進んだ理由は、産業利用推進室（コーディネーター）の設置やトライアルユースによる施策に加え学術融合が進んだ成果と思われる。トライアルユースにより中小企業の掘り起しは一巡し、中堅企業の場合は自社の課題に対し放射光の有用性を見いだせた会社は今でも使用している。小企業は、人・物・金の観点から継続的な利用は難しいと思われる（受託分析会社のように測定～解析・考察までのサポートがあれば可能かと思う）。次世代放射光施設でSPring-8以上に活性化させるためには、これまでにない新しい施策も必要かと思う。

・放射光施設は様々な分野が一同に集まる数少ない研究施設である。さらに、学術に加え企業研究も加わる。若手人材育成にとっては、様々な視点からサイエンスを知ることができる貴重な場でもある。例えば、大学とコラボレートして学生が様々な研究を学ぶような施策があっても良いと思う。

以上

ヒアリング調査個人報告書（F：産業利用分野）

1. 調査分野：素材（2014年9月29日調査）
2. 調査対象者：池松 陽一（新日鉄住金先端技術研究所 部長）

① 社会的・科学的課題：以下の課題が想定される。

- ・環境調和型社会の実現に資する材料の研究開発
- ・次世代エネルギー関連材料の研究開発
- ・革新的特性を有する新構造材料の研究開発

② 研究内容：

- ・材料の内部構造解析→特性発現機構に及ぼす原子レベル現象の影響を解析
- ・利用環境下での材料解析→耐久性、劣化に及ぼす材料内部影響因子の導出
- ・極限環境化における材料解析→高温、低温、超高压下における材料特性発現因子の導出

③ 放射光の貢献：高強度量子ビームを利用した、

- ・利用環境下、極限環境化における「その場観察」、「時分割測定」の実現
- ・表面、界面などの局所領域解析の実現

・2次元、3次元イメージング

④ ビーム性能：

ビーム性能

光子エネルギー：数 eV - 100 keV

輝度： 10^{20} photons/s/mr²/mm²/0.1%bw

ビームサイズ：数 nm / 数 μ m / 1mm

(個別のビームラインにするなど光学調整による時間ロス無く利用できること)

光源

全ビームラインが挿入光源（ビームベンド区間ではベンディング光源も設置可能）

集光はKB ミラーもしくはゾーンプレート

エンドシステム

環境制御可能（有毒ガスを含む）

温度制御可能（77 K～1700 K）

運用システム

1 ビームシフト：2 hr 制

使用料金：1 万円/1 シフト（成果非専有）、10 万円/1 シフト（成果専有）

ユーザービームタイム：7000 時間/年以上

⑤ メリット・デメリット：（メリット）国外に対する技術先進性を維持。国際競争力高まる。既存の放射光施設との役割分担を行うことで、施設の先鋭化が行われる。実験機会が増加する。（デメリット）PF と SPring-8 の老朽化に伴い、放射光を利用した研究が頭打ちとなる。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（F：産業利用分野）

1. 調査分野：応用化学（2014 年 9 月 22 日）

2. 調査対象者：宮山 勝（東京大学工学系研究科 教授）

① 社会的・科学的課題：近年の電子デバイス、蓄電デバイス応用では、デバイスの小型化、高速応答、安定性などの性能要求に応える目的で、異種物質間の複合構造や界面構造、結晶粒子内の組成不均一構造など、サブミクロン・ナノオーダーでの構造制御が利用されている。絨毯爆撃的な材料開発・デバイス設計を避ける上で、微小空間・微小時間における現象のサイエンス確立がより重要になる。

② 研究内容：実デバイス構造・サイズでの微小領域構造解析。（誘電体分野）コア・シェル構造をもつ単結晶粒子内の構造空間分布解析やナノドメイン構造の外場応答解析など。（蓄電デバイス分野）電極中原子の酸化還元反応解析、電極表面での物質形成とその電場応答解析など。

③ 放射光の貢献：X 線吸収係数が高い重元素を含む無機材料の構造解析には、高い透過能を持つ高エネルギーの放射光 X 線が不可欠。X 線結晶構造解析において、時間的・空間的に高

い分解能を達成するには、実験室系の X 線装置では困難であり、高輝度な放射光 X 線が必須。

④ ビーム性能：

- ・ Pb, Bi, Ba, Mn など重元素を含む材料の場合、数十 keV の高エネルギーかつ高い単色性のビームが必要。
- ・ ビームの微小化による強度低下を抑える上で、高輝度なビームと高精度な回折系。
- ・ 電極反応の解析には、外部からの通電をしながら測定可能な XANES 装置が有用。
- ・ 放射光分野以外からの利用という観点では、ソフト面の充実も大切と思われる。特に、測定データを解析するソフトウェアの機能面での充実は、実験実施から成果発表までに要する時間・コストに直結する部分と感じる。

⑤ メリット・デメリット：電子デバイスに求められる素子の微細化・高速化が進展する中、高分解能（空間的・時間的）な結晶構造解析のニーズは、産学両面において今後急速に高まると思われる。それらのニーズに特化したビームラインが整備共用され、他分野から利用しやすい環境が構築されれば、学術・産業発展の加速化に大きく寄与することが期待される。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（F：産業利用分野）

1. 調査分野：エレクトロニクス（2014 年 9 月 18 日）

2. 調査対象者：曾根 純一（独立行政法人物質・材料研究機構 理事）

① 社会的・科学的課題：

(A) シェールガスの登場、原発事故によりエネルギー・ミックスの見直しが必要になっている。一方で地球温暖化問題はより深刻になっている。このため、信頼性が高く、低コスト、低環境負荷のエネルギー源のニーズは高まる一方である。

(B) 化石エネルギーや資源は有限であり、エネルギー的にも、資源的にも負荷の小さなエコロジックな社会、あるいはそれを可能とする生活スタイルが要求されていく。

(C) 安全・安心な社会を可能とする信頼性の高い社会インフラへの要求が高まっていく。特に日本のような地震の多い国では、強固な建造物、高信頼の交通インフラを整備することが重要となっていく。

(D) 高齢化社会へ世界の先頭をきって突入していく日本においては、高齢者の健康へのニーズが高まっていく。

② 研究内容：

(A) 高効率太陽光発電、風力発電、そのバックアップとしての高容量 2 次電池、分散電源を可能とする燃料電池の開発。長期的には再生可能エネルギー（太陽光発電、風力発電）の利用は不可避。

火力発電の高効率化へ耐熱タービン用材料や耐熱コーティング材料の開発。シェールガス登場、原発稼働停止により、高効率火力発電、特にコンバインドサイクルの火力発電システムが重要になっている。高効率化のためには燃焼温度の高温化は避けられない技術課題。

水素化社会実現へ、水素分離、水素吸収材料や燃料電池用非白金触媒材料の開発。温暖化ガス低減へ水素化社会への期待は高く、低コストの水素生成も可能になりつつある。取扱いの難しい水素に対し、水素分離機能膜、水素吸収材料の開発が望まれる。また燃料電池の普及も望まれるが、非白金触媒の開発による低コスト化への期待も高い。

(B) 電気エネルギーの消費低減を可能とする固体照明、高磁気保持力の永久磁石を用いた高効率モータ、不揮発メモリやグラフェンなどを用いた低消費電力の電子機器システムの開発
軽量高強度材料を用いた省エネ型の航空機、自動車

(C) 高信頼・高強度の構造材料の開発

(D) 再生医療、創薬スクリーニングへ iPS 細胞、ES 細胞などの幹細胞の合成、精製、分化技術の開発、それを可能とする細胞分析、タンパク質分析技術

③ 放射光の貢献：

(A) 電池関連の研究においては固体／固体ヘテロ界面、固体／液体、固体／気体ヘテロ界面での電気化学反応の in situ 観測、電極触媒の局所構造や劣化機構の解明

(B) 磁石材料やスピントロニクス材料においては、磁気円二色性測定による磁気特性解明
不揮発メモリ材料やグラフェンなどの電子材料においては電子構造の解析

(C) 高信頼構造材料においては応力による歪の生成、腐食割れ発生の観測

(D) 創薬でキーとなるタンパク質の構造解析

④ ビーム性能：

1. 数 eV – 10 keV の波長の X 線を利用したい。
2. X 線のエネルギーを選択するための結晶モノクロメータと高エネルギー X 線を除去するミラーを備え、さらにマテリアルの微小領域の構造や電子状態を可視化するため、100 ナノメートル～数ミクロン程度の集光を行う光学系が必要である。そこで得られる X 線強度として、1 秒間あたり、およそ 10 の 8 乗から 10 の 12 乗個の光子数が必要である。集光光学系は、X 線のエネルギーを変化させても集光位置が動かないタイプのもの (KB ミラーなど) であることが必要である。
3. 試料からの回折・散乱 X 線または蛍光 X 線や透過 X 線の強度を測定するための検出器やゴニオメータに加え、数 10 nm の空間分解能でイメージングを行うための結像光学系が必要である。結像光学系はゾーンプレートなどとカメラシステムを備えたものが好ましい。
4. 電子顕微鏡並み以上の床、光学系、試料チャンバーの防振対策、試料位置決めシステムが必要である。
5. 新しいマテリアルの開発を行うためには、実際の動作環境下での計測 (オペランド計測) によって、そこで発現する機能、特性を原子レベルの構造や電子状態と対応付けて理解することが必須になる。あらゆるオペランド計測を行えるように、試料まわりのスペースが十分に確保でき、かつ交換可能であることが必要である。

⑤ メリット・デメリット：放射光施設が整備・共用されると、上記 (3) の質問に対して答えた (A) ～ (D) の開発が進む。また整備・共用されなかった時はそのチャンスを失うという事になる。これまでつくば以北に整備されてなかった放射光設備が、3 GeV の第 3 世帯の最先端装置として導入されることのメリットは大きいと考える。SPring-8 登場以降の放射光技術の進歩は著しく、最先端技術で放射光施設を新規建設することで、SPring-8 と同等の性能が引き出せる可能性があり、また互いに補完的な関係を持つことができる。

上記述べてきたように、科学技術・学術の発展、産業の活性化両面で放射光施設への期待は大きく、またこれまでの SPring-8 を中心とする放射光施設の実績がそれを証明している。しかしながら、SPring-8 の稼働率はもはや限界にきており、学术界、産業界からの要請に十分に応えられなくなっている。ここで上記放射光施設が東北に構築されることは、上記の需要をかなり満足させることができるだけでなく、最先端装置にかかわることで、次代を担う研究者、技術者の育成を実行できることの意義も大きい。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（F：産業利用分野）

1. 調査分野：エレクトロニクス（2014 年 9 月 16 日）
2. 調査対象者：伊藤 順司（住友電気工業株式会社 常務執行役員）

① 社会的・科学的課題：原子分子レベルの材料制御技術やナノ分析を利用した高度機能素材の創製やエネルギー・エレクトロニクス素子の開発

② 研究内容：国際競争力向上への観点から企業が大学・大型研究施設・独法に期待するのは研究テーマのスペクトル広さや High Risk/High Return の研究である。

③ 放射光の貢献：素材のナノ分析に適した放射光を利用した特定の研究開発項目の委託研究開発は現実味がある。原子分子レベルの物質解析をベースに革新的機能素材の基礎研究をこのような大型研究施設を利用して推進してもらうことを期待する。

④ ビーム性能：現在 SPring-8 などの大型放射光施設を利用する場合、利用申請からビームタイムを確保するまでに 6 か月など長期間のギャップが存在し、さらに一回の測定時間も限られたものとなっている。企業の研究開発テーマも数か月ごとに変更・見直しがあるのが通常であり、このような不便さを有している限り産業利用も制限されることとなろう。従って民間企業の研究開発に効果的に活かすには利用申請から 2 日-3 日程度の短期間にて十分なビームタイム・測定時間が確保できるような弾力的なシステムと運用形態が望ましいであろう。

さらに企業の専用測定ビームラインに関してはコストが掛かるため、研究開発の観点からは ROI (Return of Investment) 投資対効果が低く、さらなる使用料金の低価格化が望ましい。放射光施設の省エネ化などを期待する。

⑤ メリット・デメリット：なし。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（F：産業利用分野）

1. 調査分野：エネルギー（2014 年 9 月 16 日調査）
2. 調査対象者：大和田野 芳郎（産総研・福島再生可能エネルギー研究所 所長）

① **社会的・科学的課題**：産総研の国策的研究開発の視点からは計測・計量標準分野との接点に興味深く、例えばバイオマス燃料、バイオマス材料（バイオマスプラスチック等）の標準化や食品の品質保証などに利用すれば国際競争力向上に直接貢献するであろう。軟X線放射光分析はこれらの国策的標準業務に有効である。

② **研究内容**：産業競争力の源泉となるのは製品の開発設計や品質の試験・認証に必要な国家計量標準やその評価のための知的基盤であり、産総研においては計測・計量標準の国策的業務が極めて重要なミッションとして認識されている。一例としてエネルギー分野で喫緊の課題テーマにバイオマス燃料の標準化があるが、この品質管理を行うためには軟X線領域での放射光分析が非常に有力である。

③ **放射光の貢献**：エネルギー分野で喫緊の課題テーマの一つにバイオマス燃料の標準化があるが、この品質管理を行うためには軟X線領域での放射光分析が非常に有力である。同様な理由で、産業界に提供する各種の標準物質（高分子、化合物、他）の認証業務にも貢献できるであろう。他方、標準業務とは異なるが日本の食品（米、野菜、水産物、肉類、他）の安全性確立が期待されているが、これらの品質保証（食味や鮮度など）にも放射光が有効であり、これらに科学的な客観的認証を与えることに放射光分析が貢献することも大いに期待できる。

④ **ビーム性能**：現在 SPring-8 などの大型放射光施設を利用する場合、利用申請からビームタイムを確保するまでに 6 か月など長期間のギャップが存在し、さらに一回の測定時間も限られたものとなっている。このような不便さを克服してユーザーの希望に柔軟に対応できるような運用を実現してほしい。研究開発に効果的に活かすには利用申請から実際の測定までのスケジューリングの簡便化、短縮化など起動的なシステムと運用形態が望ましいであろう。さらに利用メンバーの会費や使用料を管理する研究管理組合など資金獲得と予算執行上の組織化なども必要である。

⑤ **メリット・デメリット**：なし。

⑥ **その他**：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（F：産業利用分野）

1. 調査分野：自動車（2014 年 9 月 16 日調査）

2. 調査対象者：射場 英紀（トヨタ自動車株式会社 電池研究部長）

① **社会的・科学的課題**：

- ・自動車の電動化については、電池の革新がないかぎり、短距離用途の利用にとどまる。
- ・燃料電池車については、水素キャリアの革新がない限り、大量普及はきわめて困難。
- ・自動車の軽量化のための要素技術は、大きな課題であるが、有効なシーズ技術が乏しい。
- ・エンジン関係の要素技術も同様であるが、一部貴金属を使わない触媒など先進的な研究課題もある。

② 研究内容：個々の技術課題から、必要な基幹部品を洗い出し、その性能向上のために必要な材料要素やシステム要件を設定する必要がある。

③ 放射光の貢献：放射光の場合、ほとんどが材料開発用途で、さらには構造解析や微細分析が主体なので、上記の材料要素の中からそのような分析が必要なもの特定していく必要がある。

④ ビーム性能：

- ・ SPring-8 や SACLA のような強い光を用いた分析も、最近では定常的な材料開発のルーチンの中で使われるようになってきた。特に、XAFS 装置が一般的に使えるようになってきてからは、触媒や電池でも多くの研究成果がある。

- ・ それと並行して、強度の弱い軟X線による解析も佐賀県や愛知県のシンクロトロンでよく活用されている。

- ・ 弊社の場合、SPring-8 に独自のビームラインをもっているため、エンジンや電池の in situ 解析も活用できおりさらに有用である。

- ・ また、蓄電池や燃料電池に関しても、各々NEDO のプロジェクトでビームラインが設けられており、用途に特化した解析の成果が出始めている。

⑤ メリット・デメリット：現状で、中国や韓国に対して、材料開発における明確なアドバンテージがあるのは放射光技術で、これを維持・発展させていくことが技術立国としての国際競争力を維持していくことに直結する。

⑥ その他：なし。

以上

ヒアリング調査個人報告書（F：産業利用分野）

1. 調査分野：分析評価（2014年9月22日調査）

2. 調査対象者：片桐 元（株式会社東レリサーチセンター 常務取締役）

① 社会的・科学的課題：

(1) グローバル化：日本企業が海外で得た知的財産収支の黒字額が2013年度に初めて1兆円を超えており、産業利用分野の中心となる日本企業の今後5～10年は、真の国際競争の時代を生き抜いていくため、魅力ある革新的製品・情報・サービスの開発とその知的財産の保護を、これまで以上にグローバルに進めていく必要がある。

(2) 微細化・微小化・微量化：新規材料の機能性発現を極微領域でコントロールするため、ますますの微細化・微小化・微量化が進められる。有機薄膜太陽電池などポリマー薄膜構造や樹脂・フィルム製品の表面改質に伴う表層の構造の分析評価では、表面から深さ100 nm以下での構造と物性との関係を調べるのが非常に重要になってきている。半導体を始めとした電気デバイス分野における薄膜化は1 nm程度まで進み、また、ソフトマテリアル材料の表面・界面構造の精密な制御が重要となっている。これらの構造評価は放射光の高輝度X線を利用すれば分析可能であるが、ラボの分析評価装置では解析不能な事例が増加している。

- (3) 製品開発のスピードおよび低コスト化：製品開発のサイクルや特許対応のスピードはどんどん速くなっており、利用まで3か月～半年程度の期間を要する放射光の分析結果を製品開発に利用することが困難となっている。また、グローバルな価格競争には製品、研究開発の低コスト化が必要であり、放射光の利用にも更なる効率化が求められる。

② 研究内容：

- (1) 微細化・高感度化：微小領域(ナノメートルオーダー)、微量元素(ppb、ppt レベル)、あるいは僅かに含まれる成分(パーセントオーダー以下)などについて、現状よりも一桁以上低い(小さい)オーダーでの化学状態分析が重要になると考えられる。
- (2) 精度・再現性の向上：製造業などの製品特許は、他社の製品やその製品と明確に区別をする必要があるため、しばしば、機器分析の評価結果による権利の主張が行われ、実施例などにもよく使用される。また、特許侵害などを見つけやすくするためにも、精度や再現性が高い分析・評価技術である必要がある。放射光などの産業利用においても、様々な手法を用いた分析・評価が行われているが、知的財産の保護を目的とした場合、現状よりも精度や確度、再現性などの向上が必須であると考えられる。
- 具体的には、例えば1年後に同じ測定を行っても、全く、同一条件での測定が可能であることが望まれる。
- (3) in situ 測定、時間分解測定：ガス流通下、温度変化などにおける触媒の構造解析、電池の充放電過程、各種化学反応の追跡などがもとめられる。これらの測定が実施しやすいビームラインが望まれる。基本的なものは用意されており、ユーザーの持ち込みも容易なビームラインが望ましい。

③ 放射光の貢献：

- (1) 現状のシンクロトロン放射光においては、ラボでは対応不可能な高度・高質な分析技術や手法の開拓は進んでおり、この点は特許など知的財産の保護の観点でも重要であるため、引き続き、継続頂きたい。ただし、繰り返しになるが、現状よりも精度や確度、再現性などの向上が必須・課題であると考えられる。
- (2) 定性・定量分析（無機分析）や観察（TEM など）は、放射光以外の分析手法が得意とする分野である。放射光を用いた分析では、主に X 線領域の電磁波による物質との相互作用、すなわち構造・電子状態を解明する手段として、放射光をプローブとした極微領域での分析が重要になる。

④ ビーム性能：

- (1) 日本に既に多くある放射光施設との棲み分けを考えるかどうかで、回答は全く変わってくる。SPring-8 との棲み分けは明確であるが、PF の将来構想と次世代放射光の関係を明確にしないと回答しにくい。また、産業利用主体ということであれば、あいちとの関係も明確にしなければならない。
- (2) エネルギー範囲としては、現在の計画より、もう少し低エネルギー側が使用できると良い。可能であれば 40 eV くらいまで利用したい（UPS）。また、フレキシブルにエネルギーを選択し電子分光として測定することできると良い。
- (3) 輝度は計画のもので十分である。既存施設では輝度が高すぎて、試料にダメージが出ることも多いほどである。
- (4) トップアップ運転が必須。

- (5) 低エミッタンスの特徴を生かすとなれば、微小部測定の実用であるが、ビーム径が小さければ良いというものではなく、ビーム径やビーム位置の安定性が重要である。
- (6) 光電子分光実験では帯電中和などが重要であるが、これが十分に機能している装置は現状では非常に少ない。帯電中和が容易に安定して実施できることが大きな強みとなる。
- (7) 真空度などの観点から、測定できる試料種などが制限される場合もある。これらの改善を強く要望する。
- (8) 産業利用への対応には、ビーム性能よりも、分光系、検出系など、要素技術の高度化が不可欠である。また、利用時期、利用スピードやビーム安定性も重要なキーポイントの一つである。利用可能時期については、年間を通して稼働が望ましいが、それが不可の場合、例えば、多くの他の放射光施設が停止期間中である 8 月や 3 月に利用できることが望ましい。また、ビームラインの利用状況(空き具合)が web などにより自由に確認できる、申請より利用までの期間をできるだけ短くする(おおむね 2 週間以内)、などの利用面での迅速化を意識した整備を期待します。
- (9) 科学的に高スペックな技術が要求されるのは勿論であるが、産業利用という観点では、高スループットや（データ）出力の安定性も求められる。そのため、セットアップ、調整などに時間がかかるチャンピオンデータの創出が期待されるビームラインとは別に、産業用として、スペックとしては 80%程度であるが、高スループットで安定にデータが出力されるビームラインも所望する。
- ⑤ メリット・デメリット：(メリット) 多額の費用が他の科学技術政策に利用できる。(デメリット) 放射光技術として、グローバルに後れをとる。
- ⑥ その他：
- (1) 東北放射光計画については、日本の他の放射光施設の将来計画と併せて考えてゆくべきである。
- (2) 東北地方が放射光施設の空白地域であることはそのとおりであるが、産業利用という観点では、東北地方に企業の生産拠点は多いものの、研究開発拠点が少なく、必ずしも多くの利用希望があるようには思えない。利用者の多くは遠くから来ることになるのではないかとと思われる。
- (3) 東北地方に建設するとしても、東北地方の中でのアクセスの良い場所が望ましい。東北地方といっても広いので、東北地方内でのアクセスもそう容易ではない。
- その他について、以下の講演で述べた点が極めて重要である。
- (4) 日本の各放射光施設を使い分けている立場からすると、各施設のデータ出力フォーマット、申請のフォーマットや必要書類などをはじめとして、ユーザーの利用方法を統一、標準化してほしい。

以上

ヒアリング調査個人報告書（F：産業利用分野）

1. 調査分野：産業政策（2014 年 9 月 16 日調査）
2. 調査対象者：西澤 昭夫（東洋大学 教授）

① **社会的・科学的課題**：既存産業における一層の効率化や高密度化によるエネルギー使用の削減、及びライフサイエンス産業の発展にとって、ナノメートル以下の素材の構造分析や機能分析が不可避になると思われる。具体的にいえば、半導体の一層の高密度化と高速化を可能にする素材の開発、二次電池の素材開発、医療器具の素材開発、たんぱく質の構造解析などが大きなテーマになり、この課題の解決に対して、放射光が大きな役割を果たすことが期待される。

② **研究内容**：新たな半導体素材の開発、その構造解析、微細加工方法、新たな二次電池材料の開発、その構造解析、医工連携のもとで開発される医療器具の素材開発、特に体内に埋め込む器具の素材や、血栓を生じさせない表面加工など、新たな課題の解決、たんぱく質の構造解析、薬理効果の作用機序の研究などがあげられる。

③ **放射光の貢献**：放射光を活用することにより、分子構造内部の電子の動きを解析し、その効率化を高めるための構造の確認や検証などが可能になり、より高密度で効率的な素材開発が可能になることが期待される。ライフサイエンス分野では、代謝を経て、たんぱく質内部における薬理効果を具体的に検証することにより、より効率的な創薬開発が可能になり、極めて高額になっているバイオ医薬の開発コスト削減に寄与するのではないかと。

④ **ビーム性能**：具体的なスペックを記載する能力はないが、現在、筑波の PF が北限になっており、これ以北に放射光施設が無いことから、新たな放射光施設の設置が必要だと思われる。また、コヒーレントな放射光の必要性が高まっており、SPring-8 に SACLA が付加されたことから考えて、本格的なリニアな放射光施設の建設が必要ではないかと。

⑤ **メリット・デメリット**：筑波以北に放射光研究施設が設置され、産業研究に応用されることは、半導体、有機 EL、二次電池の開発など、電気・電子産業の集積が進む東北地方にとって、新たな基盤強化に大きく貢献することになる。また、医工連携や創薬などのライフサイエンス産業の形成にとっても、大きくプラス効果を持つと考えられる。

逆に、この施設誘致に失敗すると、現状の電気・電子産業の集積が加工工場の集積に止まり、新興国の攻勢に太刀打ちできず、産業集積の解体や創出に繋がることになる。また、新たな産業形成分野となるライフサイエンス産業においても、東北地域の強みを提示できず、産業形成が進まない可能性も懸念される。

⑥ **その他**：ILC project（国際リニアコライダー計画）との差別化には留意を要する。特にその産業応用について、明確な差別化が必要ではないかと。

以上

第三部

3-2 レビュー調査結果の取りまとめ

A：環境・エネルギー分野

B：健康・医療分野

C：材料分野

D：情報通信分野

E：基礎科学分野

F：産業利用分野

G：放射光以外の分野

レビュー調査報告書（A：環境・エネルギー分野）

議事内容（以下、全文敬称略）：

調査実施サイドからの本調査の主旨・経過説明に引き続き、各論に入る前に先ず各委員より本ヒアリング調査報告書（環境・エネルギー分野）に対する全体的印象や意見を聴取した。報告書に挙げられた課題は、現代社会のニーズを概ね満たしている、というのがレビュー担当委員全体の総意であった。加えて、各委員からの以下の指摘があった。

【朝倉】からは、化石燃料依存のエネルギー体系からの脱却が必要であり、そのための電池等のデバイス開発には放射光利用による材料や反応解析が有用である、特に、高位置分解、高時間分解といった解析技術の高度化が重要となる、との指摘があった。【田路】からは、ヒアリング調書のコメントが環境分野よりもエネルギー分野にやや偏っている、また、エネルギー分野ではエネルギー源の多様化、効率的利用に重点を置くべき、との指摘があった。環境分野では、放射光の利用形態も多様になると考えられるので、放射光のメリットを明確にするべき、との指摘もなされた。【中井】からは、次世代放射光施設を人材育成に活用するのは有益、放射光の仕様についてももう少し検討が必要、との指摘があった。また、自動測定等、放射光利用の敷居を下げる取り組みが必要である、との指摘もされた。【井手本】からは、次世代放射光施設は我が国の科学・産業の将来に必須であること、放射光利用にあたっては、ビームラインサイエンティストの充実、産業利用の在り方、ユーザー利便性についても検討すべき、との指摘があった。また、中性子の相補利用なども含めた分析の複合化が今後重要になる、との指摘もされた。【宇留賀】からは、ヒアリング調書のコメントには既存施設で可能なことも述べられている、との指摘があった。また、次世代放射光施設が、既存施設の延長を目指すのか、異なる特徴を持つものを目指すのかが明確でなく、用途によって使い分けができる施設にすべき、との指摘がなされた。【早川】からは、軟 X 線利用が今後重要になると考えられる、ビームラインサイエンティストを充実させ、常に施設・手法の高度化、人材育成が図れる体制にすることが重要である、SPring-8 に対する東の極を作ることに意義がある、との指摘があった。【雨宮】からは、次世代放射光では施設の仕様、運営の充実が重要である、エネルギー・環境分野では材料の電子構造評価が重要になると考えられるが、それに対するコメントがない、との指摘があった。

全委員からの個別の発言に引き続き、各ヒアリング調査項目（①～⑤）について意見交換をおこなった。ヒアリングを含めた今回のニーズ調査の在り方やまとめ方などについて数多くの議論があったが、以下では今回の調査項目に直接関係する議論のみを要約する。

① **社会的・科学的課題**：本調書では、エネルギー分野でエネルギー変換技術とエネルギー貯蔵技術の開発が、環境分野で低環境負荷技術と環境保全技術の開発が課題として挙げられている。これに対し、地球温暖化・CO₂対策や燃料電池・蓄電池などエネルギー変換デバイスの高性能化、これらを念頭においた社会インフラの充実・改革が重要【田路】、蓄電池について言えば、電気自動車用電源開発は、単なるエネルギー貯蔵用としてだけでなく、産業的・経済的観点からも特化して推進すべき【井手本】、環境分野の課題としては、リサイクル、環境汚染等の応用研究も重要であるが、それを支える地球科学等の基礎科学研究も必須【中井】、との指摘があった。

② **研究内容**：本調書では、エネルギー分野で再生可能エネルギー利用技術、高効率発電技術、電力貯蔵技術、エネルギーキャリアの開発が、環境分野で有用元素リサイクル、プロセス省エネルギー化、汚染物質処理、廃炉・除染技術の開発が研究内容として挙げられている。これに対し、環境問題に対応するには総論ではなく、個々の課題に対する各論が必要【田路】、デバイス・材料の *in situ* (*operando*) 測定が重要であると同時に、材料そのものの物性にかかわる電子構造評価等の基礎科学が重要【早川】、との指摘がなされた。

③ **放射光の貢献**：本調書では、放射光の特徴を活かし、微量分析、高位置・高時間分解能の分析、元素選択分析が有用で、これらを表面・界面の高精度評価、*in situ* (*operando*) 解析へと適用することにより、放射光の多大な寄与が期待されると述べられている。これに対し、汎用機器ではできない、例えば、ビーム平行性等の放射光ならではの特長を活用すべき【田路】、ナノビーム化が図ればイメージングなど高度分析ができる【早川、宇留賀】、蓄積リング型のコヒーレント光源が有効【宇留賀】、コヒーレンシーを活かした軟 X 線利用は一つの世界的な流れ【雨宮】、放射光でしかできない基礎的な研究からのデバイスやプロセスの検討も重要【井手本】、多角分析、複合分析は放射光の魅力であり、これにより新しい世界が広がる【中井】との指摘があった。

④ **ビーム性能**：本調書では、ヒアリング調査で出た分析・解析技術、感度やビーム性能、施設や運用に関する仕様と要望を、添付の仕様表にまとめた。本会議ではこの表をベースに議論を進めた。これに対し、以下のような指摘がなされた。

a. **放射光施設の性能について**：日本には汎用の放射光施設は多いので、次世代放射光施設は既存放射光施設と差別化、区別化されたものであるべき【朝倉、田路】、SPring-8 等の既存施設と同等のものを作っても国民の理解は得られない【井手本】、硬 X 線に関し SPring-8 の輝度はまだ何とか最先端レベルを保っているが、軟 X 線では世界に大きく後れをとっており、この領域を充実させる次世代光源が必須【朝倉】、幅広いエネルギー領域に対応するよりは、どこに輝度のマックスを持ってくるか、リング建設のコストも考えた上での検討が必要【早川】、軟 X 線に強い放射光施設ができれば、高輝度化、ナノビーム化、低真空測定などが可能になり、軟 X 線分析の汎用性が一気に高くなる【雨宮】、分光器などのハード面の開発が必要【田路】、との指摘があった。

b. **放射光施設の運用について**：稼働時間、予算の十分な確保が必要【田路】、既存放射光施設を含め、それぞれの特長を活かして研究を振り分けるような施設横断型の運営システムがあると良い【朝倉】、汎用、特化ビームラインを切り分けすべき【井手本】、タイムリーな測定ができるようなビームタイム配分システムがあると便利【朝倉】、ビームラインサイエンティストを充実させ、施設の高度化を図れる体制にすべき【早川】、との指摘があった。

⑤ **メリット・デメリット**：本調書では、我が国の科学・産業の国際的競争力、ビームタイムの需給ギャップ、人材育成等の様々な観点からメリット、デメリットを述べられている。これらについては概ね、レビュー評価者全員の賛同が得られた。さらに、次世代放射光施設ができると、新規分析手法が可能になると同時に、汎用分析手法でも質の高いデータがハイスループットで得られるというメリットもある【宇留賀】、次世代放射光施設を整備しても、その運用がもっと重要である【田路】、量子ビーム、原子力分野での人材育成という点でも次

世代放射光のメリットはある【中井、早川】、との指摘があった。

⑥ **その他**：本調書では、中小企業を含むポテンシャルユーザーの掘り起こしを含む産学連携の重要性、人材育成と技術継承の核としての機能、について述べている。これらについては概ね、レビュー評価者全員の賛同が得られた。加えて、産業利用に関しては、社会からの理解得るための成果公開が必要な一方で、最先端の研究を実施できるよう機密保持の制度構築も重要【井手本】、放射光施設とユーザーをつなぐコーディネーターが重要【朝倉】、省エネルギーリングという観点も検討すべき【田路】、SPring-8 も利用開始から 15 年が過ぎており、いつまでも SPring-8 に頼る状況は望ましくない【朝倉】、との指摘があった。

以上

レビュー調査報告書（B：健康・医療分野）

議事内容（以下、全文敬称略）：

調査実施サイドからの本調査の主旨・経過説明に引き続き、ヒアリング調査報告書（健康・医療分野）に基づき、調査項目（①～⑤）について意見交換をおこなった。

① **社会的・科学的課題**：ヒアリング調査報告書に記載されている課題はどれも重要である。付け加えて下記の議論がなされた。

個々人のゲノム情報に基づく医療（個別化医療、オーダーメイド医療）が今後主流になると思われるが、これについての言及が報告書には見あたらない【吉田、加藤、三村】。

世界的な問題となりうる危険なウイルスが発生した場合の対処は重要である【加藤】。

食糧問題も重要である。ただ、日本と発展途上国とは全く状況は異なるので、日本としてこの問題をどう捉え、最先端科学を用いて何をすべきかについては明白ではなく、本当に食糧問題が来るのかどうかも含めて議論が必要である【三村】。植物科学の観点では、光合成機構の理解が重要であり、この流れで、人工光合成への結びつきも期待される【三村】。

高齢化社会への対応が重要な社会的課題である【取越、八木】。そのためには癌に加えて認知症への対応が重要である【取越】。

放射線生物学があまり重要視されない記載が報告書にあるが、これには同調できない【小林】。

ゲノムやタンパク質の研究が進んできた現状を鑑み、次にこれがどのように細胞を形作るのかというところについてわからないことが多い。今後、特に生理学的視点において重要な科学的課題になりそうである【八木】。

② **研究内容**：個別化医療が進むと予想される中、ゲノムデータの収集・解析を行う環境整備が重要である。計算科学によるアミノ酸配列のみからの構造予測が可能になりつつある【吉田】。タンパク質の構造解析に基づく創薬を考えると、スクリーニング方式で微妙に構造の異なる千種類ぐらいの結晶構造解析が迅速に行える環境を整備する必要がある【吉田、加藤】。また、新しいウイルスが発生したときなどにも、遺伝子情報から迅速に創薬に結び付けられるようにすべきである【加藤】。

タンパク質の立体構造決定は創薬に大変有用な情報をもたらすが、今後はタンパク質同士

の相互作用の瞬間やタンパク分子が持っている動的ファクターをとらえる手法開発が重要である【三木、三村】。

結晶を使わない構造解析手法の進歩が期待される【吉田、小林】。

X線顕微鏡の開発により生きた生体観察を可能とすることも魅力的である【三村】。細胞レベルから組織レベルをプローブするために様々な手法を相補的に活用する必要がある【八木】。

3.11 後、低線量被曝の影響に対する理解の必要性が認識されているが、細胞内の特定部位のみにX線マイクロビームを照射する研究を推進し、これまでの確率的放射線影響の研究から確定的放射線影響の研究へ展開させる必要がある【取越】。これに関連し、植物内の元素動態解析技術も重要である【三村】。

③ **放射光の貢献**：ヒアリング調査報告書を読んで受けた強い印象として、質より量の議論が強調されている。すなわち、今できないことをできるようにしたいという質的向上の議論より、放射光の利用機会を増やしたいという量の議論が目立つ【吉田、八木】。放射光によるタンパク構造解析の技術は飛躍的に進歩した。量的な側面においてこの技術と測定機会の堅持拡大することがたいへん重要である【三木、加藤】。創薬産業利用において、今やタンパク構造解析は完全に戦力になっている【加藤】。タンパク質分子の動的情報も現在の放射光で検出することができる【三木】。既存施設の稼働率を上げれば解決するのでは？そうであれば次世代施設の話ではなくなる【吉田】。メンテナンス時間や電気代の問題があるので、幾らでも稼働時間を増やせるものではない。また、それとは別に施設の老朽化の問題は避けられない。したがって、既存施設の稼働時間改善でカバーできるものではない【八木、小林、三木】。

放射光を臨床目的の画像診断に活用するという視点が報告書に記載されているが、患者さんを放射光施設に連れて来て診断するという事を考えると、現実論としてこれには無理があるのではない【吉田、取越】。放射線治療への応用可能性はあるものの、まずビーム制御に高度な技術が必要である【取越】。低線量できれいな画像を作る技術開発は重要であり、放射光はそのための基盤技術開発には大変有効である【取越】。

細胞内の特定部位にマイクロビームX線を照射する技術は立ち上がっており、放射光は必要なマイクロビーム形成に大変有利である【小林】。

細胞内の構造（オルガネラ）をX線顕微鏡やX線CTで可視化する技術は有望である。報告書では記述されていないが、軟X線領域に目を向けることは重要である。特に生きたまま動いている様子を見えるようにすべき【八木】。X線蛍光分析による植物内の元素動態解析も期待される【三村】。X線照射損傷の問題をどう克服するかが課題である【司会】。

④ **ビーム性能**：ヒアリング調査報告書では、分析・解析技術ごとに、ビーム性能や施設への要望という項目で表にまとめられている。本レビュー会議で議論が出た点について下記にまとめた。

a. **結晶構造解析**：

ルーチンとしてのタンパクの構造解析やそれを創薬に活用する場面において、現状の放射光施設の光源やビームライン性能でかなりの要求に応えることができる。ただし、ビームラインの本数やビームタイムが決定的に不足している【吉田、加藤、三木】。外国の施設

では、ミニハッチ方式により 8 時間で百個の結晶を計測できる（ロボットより早い）など、運用面で工夫されている【加藤】。報告書本文中には、「生体高分子結晶構造解析用ビームラインは 5 本以上」と記載があるが、控えめ過ぎる【三木】。

b. 放射線生物学・バイオメディカルイメージング：

OCT と記載されているのは何かの間違い（おそらく X 線位相 CT←座長）と思われる【八木、座長】。放射線治療の可能性を検討するのであれば、数百 Gy/s の線量率が必要であり、ウィグラー挿入光源からの白色ビームが必要である。小型リングでなくてもよい【取越、八木】。重元素の高感度体内トレーシングの記載についてよくわからない。（分析手法としての）放射光蛍光 X 線検出技術の感度を体内トレース感度と誤解した結果かもしれない【八木、取越、座長】。報告書本文中には、結晶構造解析についてのみビームラインの本数が具体的に記載されているのに対し、イメージングなど他の目的に必要なビームラインについて同様な具体的記載が無いのはアンバランスであるので追記すべきであろう【小林】。

⑤ メリット・デメリット：ヒアリング調査報告書で記載されていることに付け加える点の指摘は無かった。

⑥ その他：社会的なニーズ（出口）にとらわれすぎず、基礎的な研究を重視する次世代放射光施設の議論も重要である【吉田、三木】。

以上

レビュー調査報告書（C：材料分野）

議事内容（以下、全文敬称略）：

調査実施サイドからの本調査の主旨・経過説明に引き続き、各論に入る前に先ず各委員より本ヒアリング調査報告書（材料分野）に対する全体的印象や意見を聴取した。

【石尾】からは、ヒアリングに磁性材料分野が入っていないため磁性関係の立場での意見を述べたいということであった。【中野】からは、これから求められる半導体に関しては、適切に表現されているが、何を計測するのかというところの議論が不十分との指摘があった。【宇理須】からは、脳神経細胞の研究に放射光を役立てる視点から意見を述べたいとのことであった。【佐々木】からは、材料科学のどの分野でも放射光が不可欠だということは報告書のとおりであるが、既存の測定装置や測定方法にとらわれず 10 年先の解析技術も考える必要があるとの指摘がなされた。【山根】からは、専門家以外にも分かりやすいように報告書の項目をもう少し整理すべきとの指摘がなされた。【鈴木】からは、ヒアリング調査報告書が全体的に優等生的内容であるが、次世代光源を作るならばエキセントリックな意見も必要であり、若い人のチャレンジに期待したいとの見解が示された。【組頭】からは、研究における世界初を狙うのか、世界最高を狙うのかの選択において、次世代光源がどちらを指向するのかを議論する必要があるとの見解が示された。【平井】からは、報告書に挙げられた課題は、現代社会の要求としてそのとおりであり、次世代の放射光計画はイノベーション創出に必須であると

の見解が示された。【太田】からは、報告書の内容は既存の放射光施設で対応可能なものが多く、次世代計画にはチャレンジングなもの、できなかったことをやるという夢が必要とのご指摘があった。

引き続き、各ヒアリング調査項目（①～⑥）について意見交換をおこなった。ヒアリングを含めた今回のニーズ調査の在り方やまとめ方などについて数多くの議論があったが、以下では今回の調査項目に直接関係する議論のみを要約する。

① **社会的・科学的課題**：報告書では、エネルギー問題、低環境負荷、元素戦略、食料や医療の分野が課題としてあげられたが、エネルギー問題についてはブレークスルーを狙えるテーマに絞り、必要なビームラインを検討すべき【宇理須】、材料研究は最終製品の産業強化に結びつくこと、国レベルでの結果を見据えることが重要である【中野】、低環境負荷については将来世代に向けた課題の発見と解決を考えることが重要【平井】、元素戦略については代替材料実用化までの期間に何をやるか【組頭】、食糧については一次産業のニーズをもっと掘り下げて議論すべき【鈴木】などの指摘がなされた。

② **研究内容**：報告書では、多岐にわたる材料開発・研究が必要であり、システム化を見据えた材料研究や、ニーズオリエンテッドな材料研究が求められているということであった。システム化に関しては、金属・酸化物・有機材料の組合せにより極限的な性質を引き出すことが必要【中野】、半導体開発は産官学の協力が必要【宇理須】、かつての超 LSI 研究協同組合のような取り組みが必要【中野】との見解が示された。ニーズオリエンテッドに関しては、材料のスクリーニングにも放射光は活用できる【組頭】、ラボの X 線装置でスクリーニング、放射光で分析・解析という分業【中野】、合成物質の評価には半年に 1 回のビームタイムでは遅い【石尾】などの指摘がなされた。他にも、放射光で調べながら同時につくる【佐々木】などの意見も出された。

③ **放射光の貢献**：報告書では、放射光の一般的な特徴に加えて、ナノビームや高輝度が材料研究に貢献するとされている。本調査でも、次世代光源の特徴はナノビームと高輝度であり、これらに特化した研究、例えば顕微分光への貢献が大きい【太田】、ナノビームで細胞の核内を見たいといったニーズがある【宇理須】、ナノビームの不均一デバイスへの適用【組頭】、高輝度ナノビームで半導体プロセス評価が可能【中野】、磁性材料のナノビットパターン、バルクの粒界構造の観察においてナノビームによる高分解能イメージングが重要【石尾】などの意見があった。その他にも、その場観察による現象の理解と既存材料の性能向上と新しい現象の発見【山根】、装置周りの工夫が課題であるがオペラント測定は重要、放射光は万能ではないので得意な分野で活用すればよい【太田】、有用な成果が期待されるところには新しい計測手段によって研究が進む可能性【中野】、例えば佐賀県では柿右衛門様式赤絵皿の発色、イカの魚群の資源分布、緑茶の産地識別など地域産業貢献の実績がある【平井】などの意見があった。

④ **ビーム性能**：報告書では、今回の調査を通して掬いあげた分析・解析技術、感度やビーム性能、施設や運用に関する仕様と要望を、添付の仕様表にまとめた。本会議ではこの表をベースに議論を進めた。スペック全般に関して、次世代光源において低エミッタンスと高輝度

は同義で、1 nm rad が目安となり、他の要素は高輝度に付随して実現する【太田】との指摘があった。ナノビームに関しては、ビームを絞って数ナノメートルにするのは現時点で厳しいがイメージングであるなら可能であろう【太田】、ビームサイズと共に強度も重要である【平井】、本当に放射光ナノビームが必要なのか要望を掘り下げて検討する必要【組頭】、スペックを明確化して目的としている測定ができるかどうかをユーザーが判断できるように【中野】などの意見があった。偏光技術に関しては、磁性材料において軟 X 線ナノビームによる XMCD（円二色性）へのニーズは高い【太田】、XMCD にくわえて XMLD（直線二色性）もぜひ実現してほしい【石尾】などの意見があった。付帯設備に関しては、ガスの反応槽を設計段階から盛り込むべき【平井】との要望があった。また、消費電力設計を実現し、夏期も含めた年間を通した運転【中野】、【宇理須】の要望が出された。放射光施設のあり方に関しては、軟 X 線高輝度光源ならば、基礎科学を重視すべきであり、基礎科学を中心に、それが産業応用に広がっていくという形をとるべき【太田】、本調書にある通り、大学との連携や一緒になった運営組織が必須である【組頭】との意見が出された。

⑤ メリット・デメリット：報告書では、材料分野では放射光の共用に非常に大きなメリットがあることが示された。それに関し、研究機関や企業と放射光施設／大学のコラボレーションが地域の活性化につながり、国際的な研究開発拠点になること、競争力の高い大学が近くにあることが大事【中野】、新しい光源で最先端の研究ができてこそ人材が育つ【組頭】などの意見があった。共用されなかった場合、日本発の解析技術が生まれる土壌がなくなるというデメリット【組頭】もあげられた。

⑥ その他：報告書には材料研究に必要な放射光の一般的なレベルの性能しか記述されていないが、研究開発において日本にしかないという技術や解析手法が生まれることが重要であり、それを実現できるような最高レベルの高輝度ビームが次世代放射光に求められているという認識であった。

以上

レビュー調査報告書（D：情報通信分野）

議事内容（以下、全文敬称略）：

調査実施サイドからの本調査の主旨・経過説明に引き続き、各論に入る前に先ず各委員より本ヒアリング調査報告書（情報通信分野）に対する全体的印象や意見を聴取した。

【松岡】からは、情報通信分野における伝送技術の重要性が強調された。【玉作】からは、ヒアリング調書に量子コンピューティングの話題が盛り込まれていない点、そして現在の放射光施設でできることとできないことを明確にした上で次世代施設の仕様を浮かび上がらせるべき、との指摘があった。【城石】からは、産業利用特有の問題への配慮の必要性、そして国家レベルの科学技術成長戦略との関連性を明確にすべき、情報通信分野においてもハードディスクやリチウム電池に見られるように硬い材料だけでなく、有機材料の有用性も増しているとの指摘があった。【小野】からは、次世代放射光施設は世界最先端でなければならない、例えば nm のレベルで元素マップをして MCD 測定を行い、さらに時間分解を付け加えるよう

な最先端計測技術を複合化させることも視野に入れるべき、との指摘がなされた。【中村】より、既存技術と将来開発が必要な技術を切り分けて、次世代放射光施設を検討することが重要である、硬 X 線に関しては高いニーズの計測手法に限定し、学術面では軟 X 線の先端的利用に集中することが、利用ニーズに最終的に応えることになる、施設仕様に関しては、現状技術と将来開発が必要なニーズを切り分けるべき、との見解が示された。【鈴木】からは、本調書が目指すナノ領域・ピコ秒・界面情報計測は、次世代放射光施設が目指すべき内容と一致している、情報通信デバイスの微細化・高密度化のケタ違いの進展は、放射光ビーム性能に対しても桁違いの輝度を持つ次世代放射光を必要としている、との指摘があり、そうした時空間選択性を実現するために、ナノ集光と干渉性という光源性能をフルに活用する必要性があることが強調された。【斎藤】は、放射光を利用する企業研究者の立場から、産業サイドにとりタイムリーな測定とフレキシブルな運用が重要と強調した。【松倉】からは、微小領域、高速、界面の研究が一層重要性を増すことが指摘され、磁性研究者の立場から軟 X 線施設の必要性が述べられた。

全委員からの個別の発言に引き続き、各ヒアリング調査項目（①～⑤）について意見交換をおこなった。ヒアリングを含めた今回のニーズ調査の在り方やまとめ方などについて数多くの議論があったが、以下では今回の調査項目に直接関係する議論のみを要約する。

① **社会的・科学的課題**：本調書では、膨大な情報トラフィックに対応するための超高速・大容量データ処理技術とウェアラブル・ライフサイエンス・医療などにする軽量・小型・低消費エネルギーデバイスの開発が重要と述べられている。これに対して、21 世紀は高度情報化社会であることを強調すべき【玉作】、国の成長戦略と科学技術、イノベーション総合戦略との整合性を考慮することが重要【城石】、伝送技術が極めて重要であると指摘がなされた【松岡】。

② **研究内容**：本調書では、半導体・スピンドバイス、メモリ・ストレージ、光通信デバイス、有機デバイス等を取り組むべき研究として取り上げた。本会議では、これらの研究課題に賛同の意が表された。それら以外の課題として、量子コンピューティング【玉作】、半導体、光通信デバイス産業分野における短時間大面積描画技術への対応【松岡】の重要性が指摘された。

③ **放射光の貢献**：本調書では、表面・界面の原子レベルでの高精度かつ高い時空間分解能評価への放射光の寄与が述べられている。本会議では、さらに半導体など高品質の単結晶成長が求められる分野で、in situ の結晶成長モニタリングにおいて放射光の果たす役割が重要であることが指摘された【松岡】。日々の製品不良やトラブルの対応に、放射光利用は極めて有用であるが、最先端放射光を用いた通信用材料開発も不可欠であることも指摘された【斎藤】。

④ **ビーム性能**：本調書では、今回の調査を通して掬いあげた分析・解析技術、感度やビーム性能、施設や運用に関する仕様と要望を、添付の仕様表にまとめた。本会議ではこの表をベースに議論を進めた。話題が多岐にわたるので、項目ごとに議論された内容を整理する。

a. **微量不純物元素分析について**：半導体分野ではデバイス性能を支配する微量不純物 ($<10^{15}/\text{cm}^3$) の分析が切望されているが有効な手段がない【松岡】。1 原子検出が最終到達点になろうが、最高元素感度の達成には輝度の光源性能を上げることが重要。国内施設に目

を向けると、硬 X 線に関し SPring-8 の輝度は最先端レベルだが、軟 X 線では負けており世界に伍していくには是非とも次世代光源が必要【中村】。

b. 観察領域の空間分解能：仕様表にあるビーム径 10 nm という数値は次世代放射光施設の目標としてはすごくいいところをついている【玉作】。1 nm 以下の領域を見たいという要求も多い【中村】。ストレージの分野では、サブナノの結晶粒界の構造を見たいという切実な要求もある【城石】。10 nm 以下の空間分解能を得るためには、次世代高輝度放射光源の特性を生かしたイメージングの可能性もある【玉作】。次世代光源におけるナノビーム技術・イメージング技術とともに、超高感度軟 X 線検出器の開発が必要である【小野】。

c. 薄膜成長 in situ 観測：半導体分野では高純度高品質の単結晶薄膜、ストレージ分野ではナノメートルサイズで高度に制御された金属グラニューラー薄膜が必要で、それらの成長メカニズムの理解には、放射光による膜成長の in situ 観測が有効【松岡、城石】。

d. 次世代施設への期待：超高エネルギー分解能分光は次世代放射光施設で取り組むべき一つの方向性であり、それは例えば微量不純物検出技術の向上等に繋がる【小野】。次世代放射光施設では上記高分解能発光分光や、小角散乱でコヒーレンスを利用するなど、新しい方法を取り入れた方が良い【鈴木】。軟 X 線分野は、未だ最先端施設がないので、最先端の施設ができると産業界でも非常に高いニーズが期待できる。今後、産業界が集まりビームラインを建設する動きが出る可能性もある【小野】。

e. 仕様表について：既存施設の汎用的内容と区別して、先端的なビーム性能を明確にすることが重要、特に産業界に積極的にオープンにしている愛知や佐賀などの小規模放射光施設の役割も考慮し、これらと差別化した次世代放射光施設を考えるべき【中村】。

f. 運用面について：産業界はタイムリーな測定をやりたい。申込からデータが出てくるまで 1 週間以内であって欲しい。また産業界は基本的に情報を出したくないので、公開が原則の場合それだけで辞めるケースが多い。産業利用を増やすには、そういう敷居を低くし、情報公開もせず、料金も下げる必要がある【斎藤】。そういう施設利用と、最先端の学術研究の二本立てで運用するのがよい【ほぼ全員】。

⑤ メリット・デメリット：ヒアリング調書では、ビームタイムのバックアップ、施設利用の需給ギャップ、人材育成等の様々な観点からメリット、デメリットを述べた。本会議では、整備された次世代放射光施設のメリットを十分に生かすための運用の重要性が指摘された【城石・斎藤】。

⑥ その他：ヒアリング調書では、新施設的环境、タイムリーな施設利用、民間レベルの委託分析サービス体制、より実効的な広報活動の必要性を強調している。本会議ではこれらに加えて放射光施設とユーザーをつなぐコーディネーターが非常に重要であり、さらに専任研究者とか技術職員が常駐し、専門外の方でも次世代放射光の特性をフルに生かした最高水準の測定ができるような体制を整える必要があろうとの指摘があった【城石・斎藤】。

以上

レビュー調査報告書（E：基礎科学分野）

議事内容（以下全文敬称略）：

調査実施サイドからの本調査の主旨・経過説明に引き続き、各委員より本ヒアリング調査報告書（基礎科学分野）に対する全体的印象や意見を聴取した。

【福山】からのコメント

- ・ 基礎と応用に区別（境界）は無い。そこをシームレスに繋がれるのが放射光科学。
- ・ SPring-8 の硬 X 線と双壁を成す軟 X 線施設が国内に無い。必ず必要な施設。
- ・ 素粒子・原子核分野もヒアリング・レビュー委員に含める必要があった。

【十倉】からのコメント

- ・ 最終的な理想描像を示す必要がある。基礎科学分野で言うなら人類の知の集積等。
- ・ 調書に挙げられている課題以外に、トップを引き上げるサイエンスが必要。
- ・ 実空間・時間・運動量・エネルギーの 8 次元空間回折・分光が必要（時分割・顕微分光）。
- ・ 波動関数・位相の観測、更には電子の中のスピン・軌道の観測を目指すべき。これらはエレクトロニクス、スピントロニクス、情報通信等の多分野の研究にシームレスに繋がる。
- ・ スピンを観る分野において、日本は海外から著しく後れている。その結果日本で生まれた優れた物質・材料が国外施設で研究されている。

【大橋】からのコメント

- ・ 大型施設の研究者の流動化（スクラップ&ビルド）が必須。研究者の競争力養成が必要。
- ・ ユーザーサポート体制の充実のため、十分な数の「人」が必要。
- ・ 化学分野においては、合成・分光だけではなく、構造解析（結晶学）も必須である。

【鍵】からのコメント

- ・ 高圧地球科学の実験分野（高圧発生法等）は日本が牽引してきた（地球コアの圧力・温度環境も既に実現）。更に高い圧力の実現で、巨大惑星内部の構造解明が進む。
- ・ 複合極限環境下における放射光実験の発展や、中性子・ミュオンとの融合利用が重要。
- ・ 調査委員に、宇宙科学分野も含めると良い。（「はやぶさ」の放射光実験を例に）。
- ・ 地球科学、物性科学、材料科学の横の繋がりに、放射光は大きな貢献ができる。

【大森】からのコメント

- ・ 先導的な基礎科学のテーマ（応用研究に縛られないテーマ）を提示しても良い。
- ・ 放射光科学にも「量子サイエンス・量子テクノロジー」というキーワードがあってしかるべき。具体的な分野としては、ソフトマターを量子物理で扱う、量子ソフトマター等。

【山本】からのコメント

- ・ 表中の「X 線イメージング」は手法に含まれるべき。評価内容に関して具体的に示すべき。タンパク～細胞の階層構造の理解に、結晶構造解析・小角散乱・イメージング全てが必須。
- ・ タンパク 1 個の構造解析から、ヘテロ系におけるタンパク間の相互作用などの研究へ。
- ・ 全ての分野で結晶構造解析は必須であり、それについて報告書に含まれるべき。

【坂田】からのコメント

- ・ 日本全体の放射光施設を見た時に、3 GeV クラスの第 3 世代放射光施設が完全に抜け落ちている。そこを埋める放射光施設が必須。それもできるだけ早く建設されるべき。

【小杉】からのコメント

- ・ 今日本に欠けている事は何か、それに対して次世代放射光施設がどう貢献できるか、という視点を報告書に盛り込むべき。
- ・ 放射光でなくてもできる手法もある。放射光で求められているものを明確にする必要あり。

引き続き、各ヒアリング調査項目（①～⑤）について意見交換をおこなった。以下では今回の調査項目に直接関係する議論のみを要約する。

① **社会的・科学的課題**：【大森・福山】基礎研究の全てを応用研究と結合させる必要は無い。一方で自閉的にならず、社会を見据えながら極める所は極めるという意識も重要。基礎と応用は表裏一体。無理に分ける事は互いに首を絞める事になる。【坂田】どんな基礎研究が応用に結びつくか分からない。基礎研究分野ではそれが重要。【鍵】「境界領域の消失」は、「境界の消失」に修正。

② **研究内容**：【大森】総花的に見える。人目を引くキーワード等が必要。【大橋】各キーワードについて、ターゲットを明確化すべき。分子内の結合-タンパク 1 分子-タンパク融合体-ウィルス-細胞の時空間階層構造を総合的に研究することが必要。放射光はそこに大きく貢献できる。【福山】界面・複合分子・（磁性）ナノ粒子などのメゾスコピック系において、周期性の崩れたヘテロな構造（電子状態）を観る時に、放射光は大きく貢献する。創薬、磁石材料等の応用にも直結。【山本】階層の違う 3 つの項目が単に横に並んでいて繋がりが見えない。8 次元空間における各基礎研究のマッピングが良い。6 分野全ての研究課題が 8 次元空間にマッピングできる。それらに対して放射光がどのように貢献できるか、必要な技術開発は何か、という観点でまとめる。それがサイエンス主導による放射光施設の建設に繋がる。

③ **放射光の貢献で**：【福山・大森】構造解析における電子顕微鏡、顕微分光におけるレーザー、に対する放射光の優位性を示すべき。【大森】短いスケールから長いスケールまで、各々に最適な分解能があり、それらの階層性を包括的に観る事が重要（図の緑の部分）。【小杉】「ナノスケール構造解析、イメージング、オペランド観察、顕微分光」は放射光だけができる優位性ではない。放射光ならではの特徴を出すべき。【十倉】任意の運動量空間で高分解能測定ができる、というのが放射光の特徴（光・レーザーとの違い）。物理分野ではスピンや軌道の観測が主流になる。そのためには電子のエネルギーと強く結びつく軟 X 線放射光が必須。今は欧州の独壇場。【大橋】化学分野では時分割回折による構造解析が圧倒的主流。化学反応プロセスの広い時間スケールに対応できるのは放射光のみ。【坂田】「高い」という形容詞は具体性が無い。

④ **ビーム性能**：

ビーム性能について（表について）

【福山】SPring-8 では観えない事をやるための施設、即ち 3 GeV リング・軟 X 線が必要。SPring-8 との比較を記述（エミッタンス、エネルギー、パルス、輝度等）すべき。【小杉】電流値 500 mA は不要。エネルギーの下限（500 eV）はもっと低くするべき。手法として吸収、発光もある。1 nm・rad の低エミッタンス光源の文言は必要。軟 X 線で目指すのは 1 nm のナノビーム。

【山本】mm と μ m の混同に注意。【鍵】分析・解析技術として、非弾性散乱、イメージング等も入れるべき。

運用体制について

【福山】全ての放射光施設間で連携が取れるように、一つの大きな機構を作る。今後の運営体制について理想型を報告書に示すべき。オールジャパンでの建設運用が必須。【小杉】専用ビームラインを作る事で、ビームタイム要求にフレキシブルに対応する。【大橋】ビームタイム、装置を有効に使うために、サポート体制（人材）が大事。【山本】メールインサービスによるタイムリーな実験対応。守秘義務という観点で、産業利用にも適する。【坂田】所長・理事長裁量ビームタイムの設置。放射光施設間で連携し、研究テーマに応じて最適な施設にビームタイムを割り振る（施設横断的な課題の割り振り）。

⑤ メリット・デメリット：【坂田・大森】新物質材料開発-機能評価・原理解明という過程において、機能評価・原理解明の手段としての放射光が失われる事により、正の循環が断ち切られる。物質材料科学における日本の優位性や伝統が消失する事に繋がる。【福山】海外大型施設から出ている成果を評価し、それらが日本に作られない場合のデメリット、作られた場合のメリットを客観的事実（データ）を用いて示すべき。【山本・小杉】海外施設がスクラップ&ビルドを繰り返す事で得た優位性がどれだけ大きいかを示す。ひいてはそれが実現されない場合のデメリットに繋がる。【十倉】「海外に施設が充実している現状において、今更日本に施設が必要か？」という問いについても答えるべき。【大橋】放射光が物質材料科学（ソフトマター、タンパク等の生体機能材料も含む）のベースである、という事をメリットの中で強調しておくべき。

以上

レビュー調査報告書（F：産業利用分野）

議事内容（以下、全文敬称略）：

調査実施サイドからの本調査の主旨・経過説明に引き続き、各論に入る前に先ず各委員より本ヒアリング調査報告書（産業利用分野）に対する全体的印象や意見を聴取した。

【岩澤】からは、調査報告書（産業利用分野）を読んで産業界の多くの分野で放射光が使われていることを再認識した、次世代放射光施設は科学技術の基礎をイノベーションに結び付ける良い拠点になり得る、との意見が述べられた。【廣沢】からは、ヒアリング調書の対象を幅広く選んでいるが、化学系の企業がもっとあればよかった、対象者はどちらかと言うとマネジメント行う人や技術開発戦略を立てる人が多かった、との指摘があった。【今福】からは、企業の研究目的は論文を書くことよりも知的財産を確保することであること、現有的放射光施設では実験まで時間がかかりすぎることが指摘され、これらが次世代放射光施設の運営上における課題になるとの意見が述べられた。【虎谷】からは、産業利用分野は六分野の一つに位置付けられているが、調書は個々のヒアリングの結果を網羅して書いてある、それらには共通分野の課題と産業利用分野特有の課題があるので、まとめには後者を強調して書いた方が良く、との指摘がなされた。【高田】からは、放射光施設としてのローエンドとハイエンドとしての使い方に対して、産業利用としてどのように考えていくかが大事である、さらに、次世代放射光施設は PF や SPring-8 の先を行くことが求められている、との意見が述べられた。【野村】からは、放射光はあらゆる分野の研究者が使う時代になっており、放射光の加速器だけでなく、他のハードウェアの研究環境、サポート体制、施設と企業の間

のパートナーシップ等をどのように作っていくかが鍵である、との指摘がなされた。【片山】からは、放射光を利用して普通の分析を安く効率的に行いたいというユーザーとトップ性能で測定したいというユーザーがいること、特に産業利用ではコーディネーターやデータ解析までサポート体制が重要であることが指摘された。

続いて、各ヒアリング調査項目（①～⑤）について意見交換を行った。

① **社会的・科学的課題**：本調書では、創薬、タイヤ、素材、応用化学、エレクトロニクス、エネルギー、自動車、分析評価、産業政策の分野に分類されている。これに対し、分野の分類において分析評価は性格が分かりにくいので分類の仕方を工夫した方が良い【廣沢】、経済産業省で出している分類方法を参考にすると良い【虎谷】、基盤技術と製品技術の分類は学側からすると違和感があるが、企業からすると分かりやすい【岩澤】、自動車のような機械と、構造物のような分け方もある【今福】などの、主に分類に関する指摘がなされた。特に抜けている項目に関する指摘はなかった。

② **研究内容**：本調書では、軽量高強度材料の構造解析、誘電体単結晶粒子内の構造空間分布解析、電極中原子の酸化還元反応解析、燃料電池用触媒材料開発等を今後取り組むべき研究課題を取り上げている。本会議では、これらの研究課題以外の課題もあるのでここに記されている項目は例として捉えた方がよい【野村・廣沢】、放射光を必要とする課題とそうでない課題を使い分けた方がよい【岩澤】、研究結果がコンポーネントとして何に使われるのかを整理した方がよい【今福】等の、指摘がなされた。

③ **放射光の貢献**：本調書では、固体／固体ヘテロ界面、固体／液体、固体／気体ヘテロ界面での電気化学反応の *in situ* 観測、電極触媒の局所構造や劣化機構の解明、磁気円二色性測定による磁石材料やスピントロニクス材料の磁気特性解明等への放射光の貢献が述べられている。本会議では、さらに、実用プロセスで見られる不均一系や時間変化の解析技術【岩澤】、その場で試料を調整して測定する技術【高田】などの必要性等についての指摘がなされた。

④ **ビーム性能**：本調書では、調査した産業分野ごとに、放射光を用いた評価内容や要求事項、具体的な分析・解析技術、ビーム性能、エンドステーション等、添付資料として表にまとめられている。本会議ではこの表をベースに議論を進めた。議論は多岐にわたったが、議論された内容を幾つかの項目にして整理すると、以下のようになる。

a. **X線のエネルギーについて**：X線のエネルギーの低いところをどこまでカバーするかが重要【野村】。一桁 eV まで欲しい【岩澤】。100 keV 以上の X 線エネルギーが必要な時もあるが、そのための検出器がない【今福】。触媒ではモリブデンが多く使われているので、X 線吸収分光用に 20 keV ぐらいまでのエネルギーで高い輝度が必要【岩澤】。

b. **ビームサイズについて**：観測対象によってはサイズがサブナノメートルであるので、できればその程度のサイズのビームが欲しい【岩澤】。サブナノは将来的に求められるサイズなので、書いた方がよい。一方、平行ビームによるイメージングも考えるべき【高田】。

c. **その場測定について**：放射光によるその場測定は多くの分野で使われている【全員】。照射等による材料劣化を評価するのにも放射光が使われている【高田】。原子炉を模擬し

た装置では、数か月ごとに変化する材料を評価したいというニーズがある【片山】。長期間定期的にビームを確保し測定できる方法を検討する必要がある【今福】。

d. 分類表について：分析技術や機能で整理した方が分かりやすい【廣沢】。創薬では X 線回折しか出ていないが、他の方法もあるのではないかと【岩澤】。ハードとソフトのスペックが混在しているので分けた方がよい【高田】。材料と測定手法でマトリックスにして整理すると分かりやすい【虎谷】。ビーム性能は測定手法と関係はあるが、産業分野とそれほど関係ないので、測定手法とビーム性能の関係で整理した方がよい【片山】。今回のヒアリング調査対象者はマネジメントの方が多いので、現場ニーズの点から再検討するのがよい【今福】。現場では成果専有が多いので、ニーズを出しにくいのではないかと【廣沢】。

e. エンドステーション性能について：in situ 測定ではアカデミックには理想的な環境で測定するが、産業界では実環境に近い環境で測定したいという要請がある【野村】。塗装分野では、in situ イメージングもやっている【廣沢】。高エネルギー X 線で回折実験を行う時には高精度ゴニオメータ等が必要になることも考慮する必要がある【今福】。

f. 運用システムについて：産業界のニーズとしては、申請してから二、三日で使えるビームラインがあった方がよい【今福】。産業界として、開発のスピードやコストを配慮してほしいという要望がある【虎谷】。企業側のニーズとして、非公開実験に対しても安価にしてほしいという声がある【今福】。

⑤ メリット・デメリット：本調書では、国外に対する技術先進性を維持しながら国際競争力を高めること、放射光技術により材料開発における優位性が出すべきであること等が述べられている。本会議では、次世代放射光施設は、産業形成を推し進めるエンジンとなりうる【高田】、加工等のプロセスに放射光が使える【片山】、放射光施設に付属する他の施設もあると効果的【廣沢】、次世代放射光施設ではアカデミアから産業へのイノベーションが生まれる下地をつくる必要がある【岩澤】、そのためには施設のネットワーク化が必要【高田】等、の意見が出された。

⑥ その他：本調書では、次世代放射光施設では施設間の連携を良くし使いやすくしてほしいこと、専門家のサポートを良くすることなどが述べられている。本会議ではこれらに加えて、人材育成、人員の手当ても必要である【岩澤】、大学等の施設の人材の還流だけでなく、企業も入れた人材還流も考慮する必要がある【高田】などの指摘があった。

以上

レビュー調査報告書（G：放射光以外の分野）

議事内容（以下、全文敬称略）：

調査実施サイドからの本調査の主旨説明に引き続き、各委員より各分野（環境・エネルギー、健康・医療、材料、情報通信、基礎科学、産業利用）調査報告書に対する全体的印象や意見を聴取した。

【田中】からは、大部分のレビュー報告は妥当であるとともに、ホットマテリアルの X 線施設は福島問題を考えると注目できる、時間分割、環境セル測定は必須であろう、ppb、ppt 分析の実現は毒物の極微量検出へ貢献することが期待できる、使いやすい施設の実現には装置よりも組織が重要、などの指摘があった。【難波】からは、構造生物学の発展に放射光は不可欠であるが、現実にはビームタイムが不足している。ニーズ調査報告書の中で多くの意見があるように、中型で使いやすい施設が複数あるというのが理想的。ビームタイムの増加は結晶化したタンパク質の解析に有効であると同時に、結晶化できないタンパクの解析に対しては、近年発展目覚ましいクライオ電子顕微鏡での原子レベル解析が重要となってきた、などの指摘があった。【竹腰】からは、次世代の放射光施設の建設とその利用だけでなく、さらに次の放射光を開発できるような研究者、技術者の育成という観点での方策が必要ではないか。NMR と競合する分野もあるが、放射光では見え方が違いかつ相補的でよい手法である、などの指摘がなされた。【杉山】からは、海外の量子ビーム施設 (ISIS や PSI) のように、放射光施設を単独で建設するのではなく、自然に他の量子ビームとの複合・連携利用ができる施設計画が望ましい、との指摘がなされた。【緑川】からは、ビームタイム不足が顕在化しているようだが、現状の施設の運営方式の検討は十分なされているのか？また、次世代放射光としては輝度の向上が不可欠で、ダイナミクスの計測が重要であろう、次世代放射光を建設するのならユニークさで世界一を目指すべき、との指摘がなされた。【吉沢】からは、例えば中性子、レーザー、放射光などのそれぞれの利点を生かした相補的解析を行うことが重要であり、基礎物性の物理学の進歩に貢献する。中性子ではできないオペランド計測と顕微分光に力を入れて次世代放射光の特徴を出す。産業利用とアカデミックの両立には、役割分担を認識した運営が必要、SPRing-8 が進んでいるので参考にすべき、との指摘があった。【黒田】からは、大型施設の社会的受容性を高めるために、安全・安心社会の実現のためにどう使うか、企業ブランドの維持にどう貢献するかという視点が重要。企業が何をやっているかということはある程度わかっている人がコーディネートする仕組みや、産業課題を持ち寄ったコンソーシアムを形成するなどの方策が必要、との指摘があった。

全委員からの個別の発言に引き続き「他の手法での代替できる部分があるか」や、多くの発言がなされた「複合化」、「運用」に関して議論を深めた。各委員は放射光以外の分野であるため、現状の放射光に関する疑問等はオブザーバー（上田）から適宜コメントをもらい進めた。内容を要約すると以下のものであった。

「放射光以外の計測方法で代替できないかという観点」についての議論：X 線でやっているけれども、これを電子顕微鏡でやったら解けるのではないかと、というほど甘くない、代替というのはよほどのことがない限り起こらない、やっぱり複合だと思う【田中】。放射光施設は実験室系では得られないビームが得られるので仕方なく使いに行く、コンパクトな放射光発生装置を技術革新で開発して各大学レベルに置けるのが、多分皆さんにとって非常にありがたいことではないか【難波】。データ積算の観点では放射光が有利、時間分解能ではレーザーが有利というように、どのような測定をするかによる【緑川】。超低速ミュオン顕微鏡は、埋もれた界面を数ナノステップの深さ分解能でスピンや構造情報が得られる点で優れているが、横方向の分解能が 1 ミリ程度と放射光に及ばない、組み合わせるが大事【杉山】。

「複合化」についての議論：放射光とそれ以外の実験手法は、それぞれの手法の特徴が生かされてこそこれまでサイエンスに貢献してきたことで認知されている。その意味で、別の手法で置き換えるということはほとんどなく、競合というより相補的と考えるべきである【田中】。複数の量子ビーム利用（複合化）により、同じ現象を複数の切り口から調査することで新たな解析の糸口を見つける努力の方が重要である【ほぼ全員】。次世代放射光施設などの大型施設を単発的に設置するのではなく、他の量子ビーム解析施設・設備を併設して複合施設化することにより、解析の効率化が図れる【杉山】。民間としてはどんな測定装置であっても答えが出ることが重要。総合ソリューションが出せるような施設が理想である【黒田】。レーザーと放射光を完全に同期させたダイナミクス計測手法が行える施設は必ず必要。複合ビームによる複合施設があれば非常にユニーク、ユニークさでトップを目指すといい【緑川】。

「運用」についての議論：民間利用に関しては、守秘義務が当然であり、運営側や研究者などの意識改革と民間との意思疎通をはかるコーディネーター役が必要【黒田】。中部や九州などの新しい小型放射光施設が積極的に産業利用のニーズ発掘活動しており、オンデマンド利用など参考にすべき【杉山、吉沢】。施設を作ると同時に、施設の開発・維持・運営にかかわれる人材を継続的に育成するシステムが必要【竹腰】。単に施設を増やすのではなく、より高性能かつサービス時間がより長く確保できる施設およびその運営体制の確立が必須。24時間運転などの覚悟が要るのではない【田中】。施設利用に関してはどんどん国際化すべき、ニーズ把握に役立つ【田中、杉山、黒田】。

上記以外に、議論の途中で散発的に聞かれた次世代放射光施設への要望として下記のようなものがあった。

創薬に放射光が貢献するためには大量の合成物質のスクリーニング解析が必要であり、試料交換ロボット等の導入によるスループット向上が必要【難波】。教育を目指した実験ビームラインの設置が必要ではないか【吉沢】。アジアの中で日本が埋没してはいけない。産業利用で埋没してはいけない。基礎研究と産業利用の役割分担を認識してどこに軸足を置くかを決めないと【吉沢】。実験・解析補助、データフォーマットの共通化なども現実的には重要【田中】。次世代の放射光施設で産業利用を考えるのなら、利用形態にもよるだろうが、国内企業の利用システムや料金に関して何らかの配慮を求めたい【杉山】。

以上