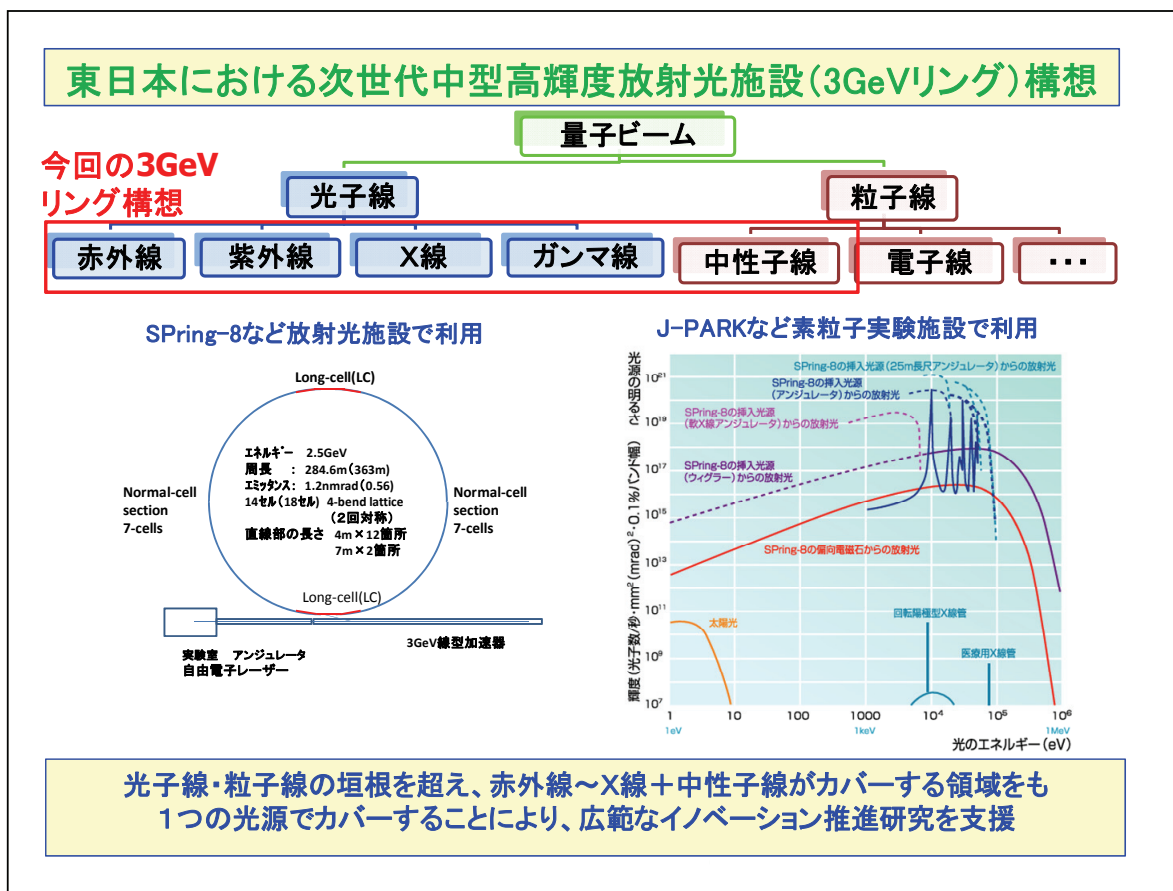


# 省エネ・イノベーション支援型放射光施設構想の趣意書

## 東日本における新時代中型高輝度放射光施設

平成 23 年 12 月  
東北放射光施設検討会(仮称)有志

平成 23 年 3 月の東日本大震災からの単なる復旧・復興と言う視点を越えて、東北地方やその周辺地域での科学技術・産業技術の革新的振興を図るため、省エネ・イノベーション支援型の「新時代中型高輝度放射光施設」の建設を提案する。これは X 線から真空紫外領域に至る幅広いスペクトル領域をカバーする光源であり、西日本のスプリングエイト(SPring-8)と相互補完しつつ、世界トップクラスにある我が国のこの分野での地位を、更に向上させることで、新たなイノベーションを創出につなげて科学技術立国・先端産業の優位性維持を支援するものである。また、徹底的な省エネルギー技術の追求により、今後の国際的なエネルギー資源状況変化の中でも、持続的に高い生産性を保つ世界初の「新時代中型高輝度放射光施設」とする。



## 「省エネ・イノベーション支援型放射光施設構想の趣意書」

# 東日本における新時代中型高輝度放射光施設

平成 23 年 12 月

東北放射光施設検討会(仮称)有志

平成 23 年 3 月の東日本大震災からの単なる復旧・復興と言う視点を越えて、東北地方やその周辺地域での科学技術・産業技術の革新的振興を図るため、省エネ・イノベーション支援型の「新時代中型高輝度放射光施設」の建設を提案する。これは X 線から真空紫外領域に至る幅広いスペクトル領域をカバーする光源であり、西日本のスプリングエイト(SPring-8)と相互補完しつつ、世界トップクラスにある我が国のこの分野での地位を、更に向上させることで、新たなイノベーションを創出につなげて科学技術立国・先端産業の優位性維持を支援するものである。また、徹底的な省エネルギー技術の追求により、今後の国際的なエネルギー資源状況変化の中でも、持続的に高い生産性を保つ世界初の「新時代中型高輝度放射光施設」とする。

### はじめに

東日本大震災における東北および北関東地方の被害は、図らずもこの地域が我が国のみならず、全世界に対する高付加価値素材・先端材料の供給基地となっていることを明らかにした。また、この地域は、世界的に卓越した材料科学研究の極めて高い実績を有し、グローバルなCOE拠点として機能している。その活動に関連して、この地域からの多数の研究者が、関東地区つくば市の高エネルギー加速器機構の放射光施設・フォトンファクトリー(Photon Factory=PF)や、西日本の兵庫県西播磨の高輝度放射光施設・スプリングエイト(SPring-8)をも頻繁に利用している。

高付加価値素材・先端材料は、BRICS などの新興国の追い上げの中で、今後我が国の産業が生き残るための重要な対象であることは衆目の一致するところである。近年、世界をリードする高付加価値素材・先端材料は、原子レベルでの物質の振る舞いに関する知見の正確な把握と精緻な制御によって、設計・製造することが主流になりつつある。言い換えると、我が国が今後も科学技術立国として世界を先導するために、原子レベルで物質の振る舞いを解明・制御するための基盤施設を全国的視点から整備して、高付加価値素材・先端材料分野で優位性を維持・発展させることが不可欠である。波長が短く、透過性の高い放射光 X 線はこれらのために最適なプローブであるため、産業界からの利用希望が近年加速度的に増大傾向にあり、例えばスプリングエイトでは既に全利用課題の 20%が産業界からのものとなっている。また、このような高まる需要に対応して、産業界が自ら投資してビームラインを設置し利用する例も多く見られ、高輝度放射光施設の需要はすでに供給を上回っており、今後逼迫した状況はさらに悪化することが確実視されている。

特に、我が国のみならず全世界への高付加価値素材・先端材料の供給基地である東日本は、スプリングエイトから比較的遠距離にあることで、産業利用に関しては西日本と比較して大きな格差が生じていると言わざるを得ない状況にある。このような格差は、東日本に、世界トップクラスの放射光施設を整備することで、可及的速やかに除くことが、今後の科学技術振興のみならず産業振興にも極めて重要である。

東日本としては、関東地区つくば市に大学共同利用機関としての高エネルギー加速器機構(KEK)に放射光施設・フォトンファクトリーが存在するが、完成後 30 年を経過しており教育用としての比重が大きくなっている。世界最先端の放射光施設を東北地方に早急に整備することによって、この地域での革新的科学技術振興に寄与するとともに、我が国全体で急速に増大しつつある高輝度放射光産業利用需要に対応し、とくに東日本地域での産業復興と産業強化・発展に適切に対応することこそ、我が国の産業競争力の維持・強化に貢献するものと信じる。

## **放射光装置**

放射光源の世界の趨勢は、究極を目指す X 線自由電子レーザー(線形加速器光源)と、多数の利用者の同時利用が可能な、リング型光源の2つの方向があるが、ここで目指すべきは后者である。リング型光源としても、スプリングエイトに代表される大型超高輝度光源は、我が国の科学技術の粋が結集された有用資産ではあるが、建設コストに過重な負担を強いる点で、これからの時代にマッチしているとは言い難い。いまや、建設コスト・運転コストがともに、より低廉な「新時代中型高輝度放射光施設」の建設が世界のトレンドとなっていることを注視しておきたい。

新時代中型高輝度放射光施設建設には、原理的な開発項目は皆無であり、既存技術での建設が可能であるため、建設開始後2~3年以内での運用開始が可能である。さらに、近年世界中で稼働する高輝度放射光施設で蓄えられた知見、あるいは開発された技術を適切に組み合わせることによって、スプリングエイトの 1/5 程度のコストで、トータルの光源性能としてはスプリングエイトの 6 割~7 割の性能を有する放射光源の設置が可能であり、極めてコストパフォーマンス性に優れることが、十分な根拠性のもとで期待できる。また、建設経費における優れたコストパフォーマンスに加えて、運営経費においても最新技術の積極的導入による電力消費量の大幅な節減等を実現する。それによって、ここで提案する「新時代中型高輝度放射光施設」は、運営経費についても、現在運転中の大型放射光施設の 1/5 程度となることが推算されている。

具体的な設計に当たっては、高エネルギー加速器機構やスプリングエイトの加速器研究者の総力、ならびに東日本地区で活動するこの分野の研究者の総力を結集して、現時点での世界最高水準の施設を建設する。

## **建設体制と運営体制**

建設体制に関しては、今後様々な検討が必要ではあるが、放射光の原理的な開発項目はほぼ確立していることから、今回の施設構想において新規の開発項目を最小限に絞り、これまでに実現している技術水準を最大限かつ効率的活用することを、基本思想におく

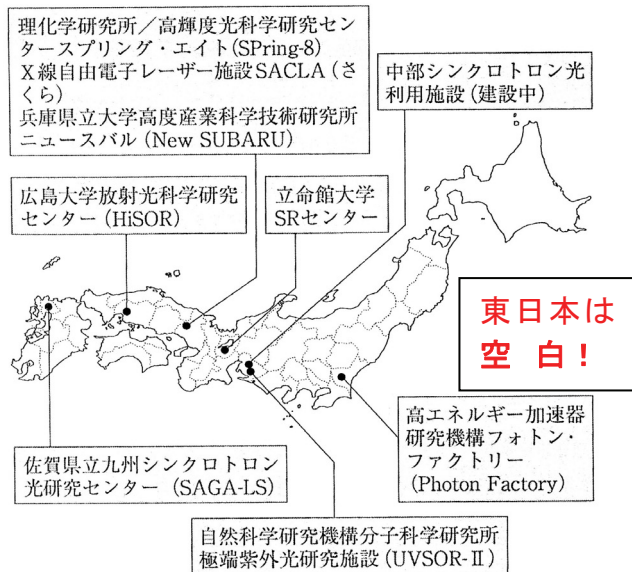


図 1-20 国内の放射光施設

### 放射光が解き明かす驚異のナノ世界

魔法の光が拓く物質世界の可能性

日本放射光学会編 講談社 2011年9月より

| 研究所名 (施設名・所在地)   | 加速エネルギー  | 加速器の周長                    |
|--|--|---------------------------|
| フォトン・ファクトリー (Photon Factory, PF)<br>(高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所)<br>茨城県つくば市 | 25億電子ボルト (PF.2.5GeV)<br>65億電子ボルト (PF-AR, 6.5GeV) | 187m (PF)<br>377m (PF-AR) |
| 極端紫外光研究施設 (UVSOR-II)<br>(自然科学研究機構分子科学研究所)<br>愛知県岡崎市                      | 7.5億電子ボルト (750MeV)                               | 53.2m                     |
| 中部シンクロトロン光利用施設 (建設中)<br>愛知県瀬戸市   | 12億電子ボルト (1.2GeV)                                | 72m                       |
| 立命館大学SRセンター<br>滋賀県草津市  | 5.75億電子ボルト (575MeV)                              | 3.14m                     |
| スプリング・エイト (SPring-8)<br>(理化学研究所播磨研究所/高輝度光科学研究センター)<br>兵庫県佐用郡             | 80億電子ボルト (8GeV)                                  | 1436m                     |
| X線自由電子レーザー施設 SACL (さくら)<br>(理化学研究所播磨研究所/高輝度光科学研究センター)<br>兵庫県佐用郡          | 80億電子ボルト (8GeV)                                  | 700m (直線加速器の全長)           |
| ニューサブアル (New SUBARU)<br>(兵庫県立大学高度産業科学技術研究所)<br>兵庫県赤穂郡                    | 10億電子ボルト (1.0GeV)                                | 118m                      |
| 広島大学放射光科学研究センター (HiSOR)<br>広島県東広島市                                       | 7.0億電子ボルト (700MeV)                               | 21.95m                    |
| 佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター (SAGA-LS)<br>佐賀県鳥栖市                                 | 14億電子ボルト (1.4GeV)                                | 75.6m                     |

表 1-2 国内の放射光施設

光源としての性能は、既存の最先端施設（例えば SPring-8, PF）の水準を確保しつつ、建設コストは約 5 分の一、建設期間も約 3 年以内の新時代中型高輝度放射光施設 → 広範なイノベーション推進研究を強力に支援する東日本の拠点形成を実現 → 東北地方およびその周辺地域での科学技術・産業技術の革新的振興によって、東日本大震災からの復興ならびに我が国の物づくりの優位性維持と発展に活用

ことにする。したがって、例えば、この分野で高度な知識と経験を有する東北大学の加速器関連研究センターの研究者を中核とし、高エネルギー加速器機構やスプリングエイトの加速器研究者が加勢する形での建設が十分可能である。また、やり方によっては民間会社が共同体を形成して施設建設を担当することも一つの選択肢となる。運営体制としては、現在稼働中の高輝度放射光施設であるスプリングエイトの運営体制が参考になる。スプリングエイトで利用者支援を担当する財団法人高輝度光科学研究センター（JASRI）と同様の役割を果たす、あるいは同様の仕組みを構築することは検討の際の、参考となると考えられる。

## **建設計画**

下記の表に示すように、検討開始から3年間で建設が可能であり、4年目には供用開始が可能となる。たとえば、 $X=23$  とすると、平成24年、25年で建設を終了し、平成26年度からの供用が可能と言う、着実に現実的なタイムスケジュールが算定できる。

| 平成X年 | 平成X+1年               | 平成X+2年              | 平成X+3年        |
|------|----------------------|---------------------|---------------|
| 設計研究 | 建屋建設<br>加速器コンポーネント建設 | 加速器組み立て<br>ビームライン建設 | 加速器調整<br>供用開始 |

## **将来の発展性**

放射光施設は、高エネルギー加速器機構の放射光施設フォトンファクトリーやスプリングエイトの例が示すように、長期間にわたって次々と新しい課題を解決していく性格を持つ基盤的かつ最先端施設であり、適切な高度化を続けることによって、20年程度は世界のトップクラスを維持可能と考えられる。また、スプリングエイトのように、リング型光源と、X線自由電子レーザー施設（SACLA）の入射器との組み合わせのような技術を活用して、軟X線領域のX線自由電子レーザーの利用を可能にするなどの先進性の付加を推進すれば、世界的にもユニークでかつスプリングエイトと補完的な施設が完成する。これは、今回の震災で学んだ危険の分散の重要性の観点から、近い将来の新たな大震災発生に備えたリスク分散としても重要と思われる。

注：SACLA : Spring-8 Angstrom Compact free electron LAser

## **おわりに**

東北地域の創造的復興のために、3GeV程度の新時代中型高輝度放射光施設の建設を提案する。これは、地域復興に役立つのみならず、今後の我が国の産業競争力の維持向上のために極めて重要な施設となる。このため、東北地域からの強力な支援をお願いするのみならず、オールジャパンの観点から、産官学を問わない幅広い支援と協力を要請したい。

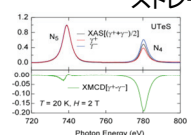
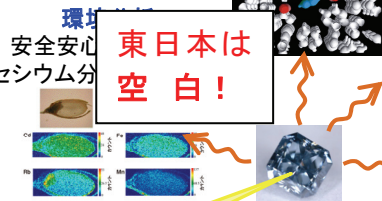
## 最先端量子ビーム技術の集積と安心ツール化による、 省エネ・イノベーション支援型放射光施設構想

震災復興のイノベーションを支援する光技術

**ナノ・時分割分析**  
材料設計イノベーション  
クリーン材料、ガス貯蔵

**スピントロニクス**  
高効率磁性材料設計  
磁石・高性能モーター  
ストレージデバイス

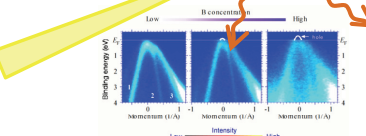
**波長: 0.1KeV~15KeV**  
**空間分解能: 100nmスケール**  
**エネルギー分解能: 10meV**  
**100psの早さ**  
**をとらえる**



**小角・広角散乱解析**  
有機・高分子化学  
有機薄膜・太陽電池  
高密度炭素材料

高エネルギー分解能  
ナノ集光  
短パルス

X線



**ナノX線吸収分光**  
化学結合状態分析  
燃料電池、触媒化学  
高分子材料開発

超伝導電磁石導入で、中性子で見ることが  
できる領域を含めてカバー！

**光電子分光分析**  
電子レベル材料設計  
超伝導、熱電材料

次世代パワーエレクトロニクス開発

**既存の最先端光源・利用計測技術を省エネ運転技術と融合し、  
ハイパフォーマンス放射光施設を低予算(～200億)・短期間(～3年)で建設**

## 量子ビーム研究拠点としての3GeVリング構想

量子ビーム

3GeVリング構想

光子線

粒子線

赤外線

紫外線

X線

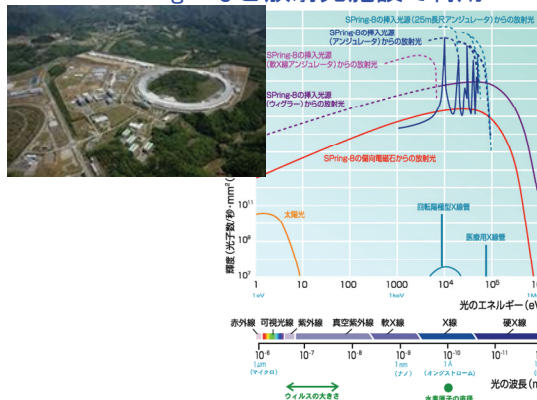
ガンマ線

中性子線

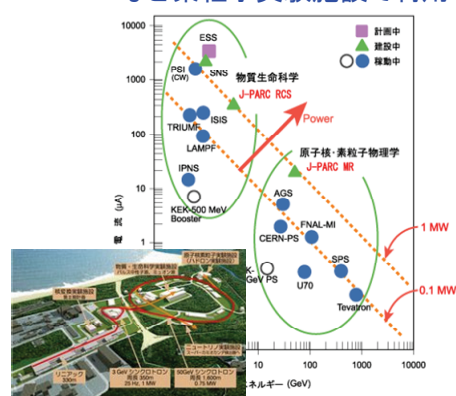
電子線

...

SPring-8など放射光施設で利用



J-PARKなど素粒子実験施設で利用



光子線・粒子線の垣根を超え、赤外線～X線+中性子線がカバーする領域をも  
1つの光源でカバーすることにより、広範なイノベーション推進研究を支援。

**軽元素戦略を基軸とした、脱レアース材料設計によるライフ・グリーンイノベーション  
必要不可欠な光源スペック**

- ✓ 軽元素(炭素・窒素・酸素・ケイ素・リン・硫黄)分析に不可欠なエネルギー領域をカバー  
→ 波長範囲: 0.1~15 keV
- ✓ ナノビームならびに、挿入光源による偏光の完全制御を可能とする低エミッタンス光源  
→ エミッタンス: 3~5 nmrاد
- ✓ ナノ領域の物質構造・機能を鮮明に観察するための高輝度光源  
→ 輝度:  $10^{20}$ ~ $10^{21}$  photons/s/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>/0.1%B.W.
- ✓ 化学反応や物質相転移のリアルタイム分析を可能とする短パルスX線  
→ パルス幅: 100 ps
- ✓ ナノ集光ビームならびに、超高分解能X線の性能を最大限発揮するための安定光源  
→ トップアップ運転
- ✓ 研究・開発経費を大幅に低減させる、省エネルギー光源設計  
→ 運転経費の低コスト化を可能とする、エコ設計ならびに省エネ運転

**既存の最先端光源・計測技術の集積により、ハイパフォーマンスと低コストを両立**

**イノベーションを加速する研究例**

| 開発項目                      | 研究対象例                             | 主要な分析手法           |                    |                     |
|---------------------------|-----------------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
|                           |                                   | 散乱・回折             | 分光分析               | イメージング              |
| <b>再生可能エネルギーへの転換を目指して</b> |                                   |                   |                    |                     |
| 次世代エネルギー供給技術の開発           | 有機太陽電池、シリコン太陽電池、水素貯蔵材料、           | X線回折              | 電子分光、NEXAFS        | 3次元ESCAトポグラフィー      |
| バイオ化学技術の開発                | バイオマス由来ポリマー、バイオ燃料、人工光合成           | 小角・広角散乱           | NEXAFS、Quick-XAFS  | ナノイメージング            |
| <b>エネルギー利用の効率化に向けて</b>    |                                   |                   |                    |                     |
| 省エネ家電・情報機器の開発             | 有機EL、有機トランジスタ、LED、SRモーター、固体酸化燃料電池 | X線回折<br>小角・広角散乱   | NEXAFS、MCD<br>電子分光 | ナノイメージング            |
| エコ住宅・省エネ素材開発と長寿命化技術開発     | 炭素繊維、炭素複合材料、エコタイヤ、エコ建材            | X線回折<br>小角・広角散乱   | NEXAFS<br>電子分光     | ナノイメージング<br>トポグラフィー |
| 省エネパワーエレクトロニクス開発          | ダイヤモンドデバイス、SiCデバイス、GaNデバイス、       | X線回折              | NEXAFS、MCD<br>電子分光 | 3次元ESCA<br>トポグラフィー  |
| <b>国内資源の有効的な循環利用に向けて</b>  |                                   |                   |                    |                     |
| ユビキタス元素を利用した新規触媒・材料開発     | 有機触媒、ポストリチウム電池、多孔質材料、ゼオライト、       | X線回折<br>小角・広角散乱   | NEXAFS、Quick-XAFS  | ナノイメージング            |
| レアメタルのリサイクル技術の開発          | メタルバイオ、スラグ分析                      |                   | 蛍光XAFS             | 元素イメージング            |
| <b>安全安心な環境の保全に向けて</b>     |                                   |                   |                    |                     |
| 有害物質対策技術の開発               | アスベスト・ヒ素・セリウム等の有害元素分析、ポリマーセメント    | X線構造回折<br>小角・広角散乱 | 蛍光XAFS、NEXAFS      | 元素イメージング            |
| 植生・生態系変化のモニタリング技術         | 土壌分析、水質分析                         | X線回折              | NEXAFS             | ナノイメージング            |
| 気候変動予測モデルの高精度化            | 大気分析、環境エアロゾル、黄砂                   | X線回折              | NEXAFS             | ナノイメージング            |