

シード光を用いた短波長コヒーレント光発生技術の現状と展望

加藤政博 分子科学研究所極端紫外光研究施設 〒444-8585 岡崎市明大寺町字西郷中38
 原 徹 理化学研究所播磨研究所放射光科学総合研究センター
 〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
 保坂将人 名古屋大学大学院工学研究科 〒464-8603 名古屋市千種区不老町

要旨 シンクロトロン光源において光を発する母体となる高エネルギー電子ビームは、適当な条件下で外部から光を注入すると、増幅、高調波発生、偏光制御、波長フィルタ、波長変換といった様々な機能を示す。これらの機能と、洗練されたレーザー技術による注入光（シード光）の特性制御を組み合わせた光発生技術は、いわゆる SASE の原理に基づく自由電子レーザーの次の世代の自由電子レーザー技術として注目されている。我が国ではこの分野の研究はこれまでほとんど行われてこなかったが、最近になって UVSOR-II や SCSS 試験加速器を用いて実験が開始された。

1. はじめに

短波長領域のコヒーレント光発生技術として、直線加速器を用いたシングルパス型の自由電子レーザーの建設計画が世界の各地で検討されている。なかでも、スタンフォード¹⁾、ハンブルグ²⁾、そして我が国の SPring-8 サイトにおける計画^{3,4)}では硬 X 線領域でのレーザー発振を目指して開発競争が進められている。これら 3 つの計画は、長さ数 100メートル、あるいはそれ以上、という大型の高性能直線加速器の先に、これまた 100メートルを超えるような長いアンジュレータを設置し、いわゆる SASE (Self Amplified Spontaneous Emission) の原理⁵⁾を用いてコヒーレントな X 線を発生しようとする巨大プロジェクトである。X 線自由電子レーザーと称されることが多い。

これらほど巨大ではないが、やはり直線加速器をベースにした短波長自由電子レーザー計画も世界各地にあり、それらの中には、「第 2 世代」X 線自由電子レーザーを自称するものも見られる⁶⁾。現在建設が進行中の巨大プロジェクト 3 つを第 1 世代と位置付け、更にその先を行くのであると主張しているわけである。どのように先を行こうとしているのであろうか。

SASE の原理を用いた X 線自由電子レーザーには、原理的な欠点があるといわれている。詳しくは後で述べるが、最終的に得られる光パルスが、波長や位相の異なるいくつかの波束の集合体となるため、その時間構造やスペクトル構造は多数のスパイクからなる複雑な構造を持ち、また、その構造はパルス毎にランダムに変化する。単に大強度あるいは短パルス特性を利用するだけでなく、コヒー

レント光であるという特徴を活かしたより洗練された利用研究に用いる場合に、これらは問題となってくる可能性がある。

この欠点を補うために提唱されているのが、外部からレーザー発振の種になる光（シード光）を注入する手法である。上述した「第 2 世代」の X 線自由電子レーザーではこの手法を当初から取り入れることをうたっている。「第 1 世代」の X 線自由電子レーザーにおいても、当初の目標である X 線領域での発振の実現の後には、シード光の利用が検討されることになるものと思われる。「第 2 世代化」といってもよいであろう。

世界的にはブルックヘブン国立研究所（米国）でこの手法に関する研究が長く行われているが⁷⁾、国内においてはこれまでほとんど行われてこなかった。最近になって、ようやく分子科学研究所の UVSOR-II、更には理化学研究所の X 線自由電子レーザー計画 SCSS の試験加速器において、研究が開始されたところである。以下では、シード光を用いた短波長コヒーレント光発生技術について解説し、また、国内での研究の現状と展望について述べる。

2. コヒーレントなシンクロトロン放射

通常我々が利用しているシンクロトロン光は、放射に関与する個々の電子の出す光の位相がそろっていない (Fig. 1)。すなわちコヒーレントではない。シンクロトロン光とレーザー光の最も大きな違いはここにある。それでは光の位相をそろえるにはどうしたらいいであろうか。最も単純な方法は、放射に関与する全ての電子を放射波長よりも小

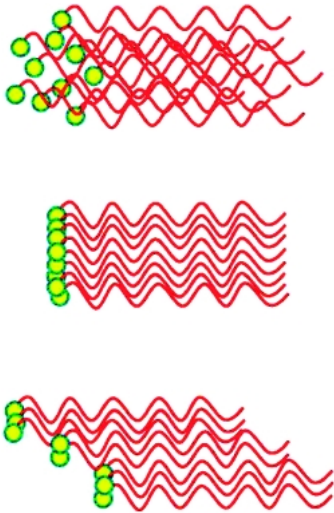


Fig. 1 Normal (incoherent) synchrotron radiation (upper), coherent synchrotron radiation from a short electron bunch (middle) and from micro-bunches (lower).

さな空間領域に集群させることである。この場合、各電子からの放射は同位相で重畳し、コヒーレントな光を得ることができる (Fig. 1)。このとき、放射電場は電子の数に比例して強くなり、電場の二乗に比例する放射強度は電子数の二乗に比例して強くなる。通常の放射光源用加速器における典型的な電子数は 10^{10} 個にもなるため、放射強度は通常の放射に比べて桁違いに強くなる。このような放射はコヒーレントシンクロトロン放射と呼ばれ、古くから理論的には予言されていたものの、実際にこれを観測したのは、1980年代後半になってからである。世界に先駆けて、東北大学の原子核理学研究施設が、直線加速器を用いてミリ波の領域でコヒーレントシンクロトロン放射光の発生に成功した⁸⁾。その後、直線加速器を用いた長波長領域でのコヒーレント放射の生成は世界各地で広く行われており、利用実験にも供されている。また、最近では、電子蓄積リングでもミリ波・テラヘルツ領域でコヒーレント放射光の発生が行われるようになってきている。国内ではUVSOR-IIとNEW SUBARUで観測に成功している。これらコヒーレントシンクロトロン放射の歴史や現状に関しては文献9に詳しく述べられている。

加速器中で電子線パルスをミリメートルあるいはサブミリメートルまで圧縮することは、直線加速器では比較的容易である。また、蓄積リングにおいても、ビーム光学的な手法により、微弱電流であれば、電子パルスのサブミリメートルへの圧縮は可能である⁹⁾。しかし、ナノメートルあるいはオングストロームといった領域までの圧縮に関しては技術的な見通しはない。こういった短波長領域でのコヒーレント光を得るには、バンチ全体を圧縮するのではなく、次に述べるように、バンチの内部に放射の波長と同じ周期で密度変調を形成するのが現実的である。別な表現をすれば、光の波長の間隔で電子を整列させる、のである。

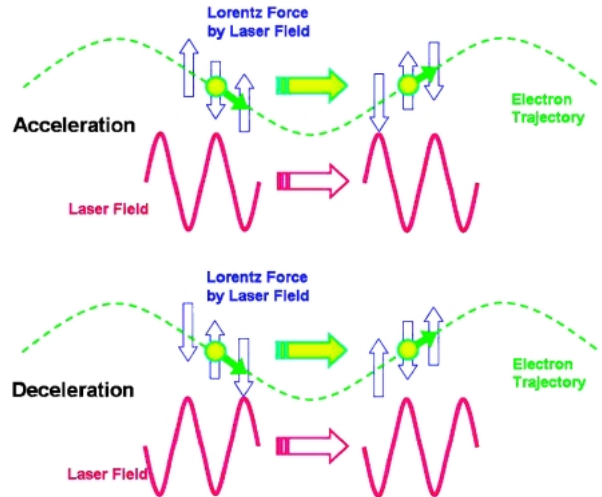


Fig. 2. Acceleration (upper) and deceleration (lower) of electrons traveling in an undulator by laser field.

3. 光の波長で電子を整列させる

どうやって電子を光の波長間隔で整列させるか。道具としては、周期的な磁界を発生するためのアンジュレータとコヒーレントな光を用いる。電子ビームとコヒーレント光を空間的に重ね合わせてアンジュレータ中を同じ方向に走らせる。このとき光の波長はアンジュレータ放射光の基本波長と同じにしておく。光はアンジュレータ中を直進し、その電磁場は進行方向に垂直となる。一方、電子はアンジュレータ磁場により蛇行して進む。光の進行方向に対して斜行する電子はレーザーの電場によるローレンツ力を受けて加速されたり減速されたりすることになる (Fig. 2)。

例えば、ある電子が光の進行方向に対して右斜め方向に進んでいるとする。このときレーザーの電場によるローレンツ力が進行方向に対し右向きに作用していると、ローレンツ力は電子の進行方向の成分を持つことから電子は加速される。逆に、ローレンツ力が左向きに作用していると、電子の進行方向と逆向きの成分を持つことから、電子は減速される。電子がアンジュレータの周期的磁界の中を半周期分進むと、今度は光の進行方向に対し左斜め方向に向きを変える。一方、光パルスは蛇行する電子を追い越しながら進むが、上述したアンジュレータ光基本波長と注入光の波長が同じであるという条件が満足されている場合には、電子がアンジュレータ半周期分だけ進む間に、光は電子を光半波長分だけ追い越す。このため電子の向きが右斜めから左斜めに変わるにつれて光の電磁場の向きが反転し、ローレンツ力の向きも反転する。このようにして、ある地点で加速された電子はその後も加速され続け、ある地点で減速された電子は減速され続ける。ある電子が加速条件下にいたとすると、その電子から光半波長分だけ遅れて走っている電子は減速条件下にいる。さらに光半波長分だけ遅れた電子は加速条件下にいる。このようにして電子ビーム

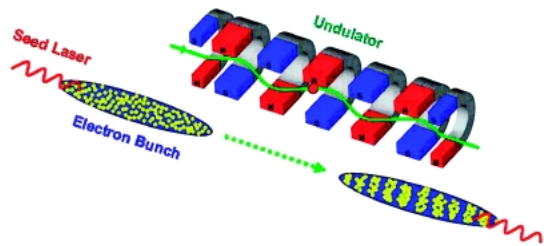


Fig. 3a Micro-bunching in an undulator by a laser pulse.

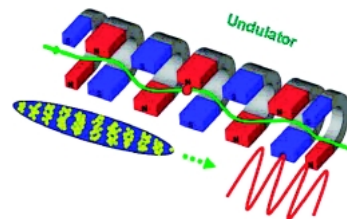


Fig. 4 Coherent radiation from micro-bunches.

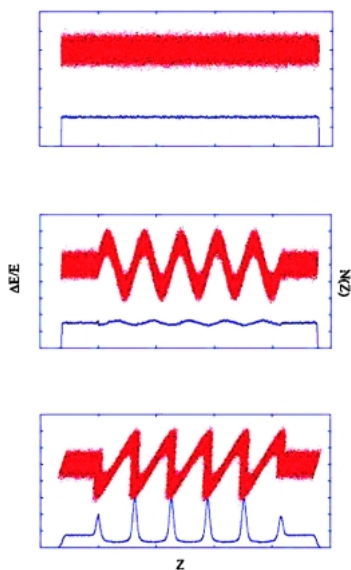


Fig. 3b Micro-bunching process; (i) before the interaction (upper), (ii) an energy modulation is produced by the laser-electron interaction (middle), (iii) the energy modulation is converted to a density modulation (lower). The horizontal axis is the longitudinal position in the electron bunch. The electron energy distribution is plotted in red ($\Delta E/E$) and the density distribution in blue ($N(Z)$).

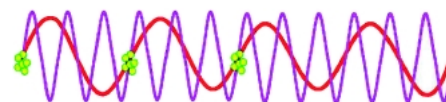


Fig. 5 Coherent harmonic generation.

放射が同位相で重畳し、位相のそろったコヒーレントな光が放出される (Fig. 4)。また、その強度は電子数の二乗に比例する。この場合、整列させるために用いたシード光と同じ波長でコヒーレント光を出すだけではなく、その整列の仕方によっては、より短波長のコヒーレントな光を発生することも可能となる。

シード光によるマイクロバンチングでは、まず、レーザー場との相互作用により電子バンチ中に波長間隔でエネルギー変調が形成される。このときにビームの元々のエネルギー広がり比べてエネルギー変調の振幅が十分に大きいと、非常に鋭いマイクロバンチングを起こすことができる (Fig. 3)。このような場合、マイクロバンチの間隔と同じ波長の光だけではなく、その整数分の1の波長の光もコヒーレントに放出することが可能となる (Fig. 5)。これをコヒーレント高調波発生 (Coherent Harmonic Generation; CHG) と呼ぶ。

上に光の波長の周期でエネルギー変調が形成されることになる。

このエネルギー変調は、アンジュレータ中を進む間に、軌道長のエネルギー依存性により密度変調に変換される。すなわち、エネルギーの高い電子はあまり蛇行せず短い行路で早く進む、エネルギーの低い電子は大きく蛇行することで遅く進む。この結果、電子ビーム上には光の波長と同じ周期で密度変調が形成される (Fig. 3)。エネルギー変調を密度変調に変換するのに磁気圧縮装置を用いる場合もある。これはシケイン状に電子ビーム軌道を曲げてやることで積極的に軌道長のエネルギー依存性を作り出すもので、短い距離で効率的に密度変調が形成できる。

4. 整列した電子群からのコヒーレント放射

整列した、すなわち波長間隔でマイクロバンチングした電子パルスからの放射では、個々のマイクロバンチからの

5. 整列した電子群による光の増幅

光の波長の間隔で整列した電子群は光を増幅することができる。これが自由電子レーザーの基礎となっている。この場合も道具立ては、アンジュレータとコヒーレント光である。光パルスと電子バンチが重なり合ってアンジュレータ中を進行するときに電磁場の位相との関係である電子は加速され、また、別な電子は減速されることを説明した (Fig. 2)。電子が光の電磁場の位相に対して一様に分布している場合には、電子群全体としてはその平均的なエネルギーに変化はない。ところがこの電子群があらかじめ光の波長で整列していると、マイクロバンチングの位相と光の位相との関係によって、大部分の電子が加速条件下に入ったり、あるいは、その逆に減速条件下に入ったりすることが起こりうる。このような場合、電子群が全体としてエネルギーを得たり失ったりするが、そのエネルギーを供給したり受け取ったりするのは光である。エネルギーを電子ビームから受け取ることで光は増幅される (Fig. 6)。これ

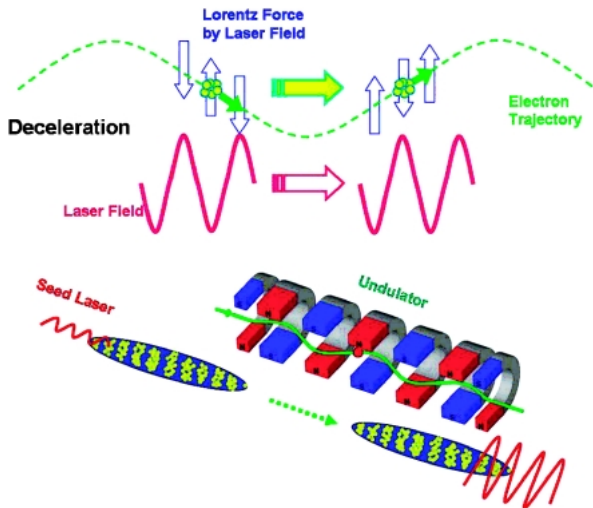


Fig. 6 Amplification of laser field by micro-bunched electron pulse.

が自由電子レーザーの増幅過程である。一方、電子が光からエネルギーを受け取って加速される過程は逆自由電子レーザー (Inverse Free Electron Laser) と呼ばれ、粒子加速の手法として研究対象となっている¹⁰⁾。

6. シード光注入式シングルパス自由電子レーザー

自由電子レーザーは、元々、アンジュレータ放射光を2枚のミラーを組み合わせた光共振器を用いて電子ビームと繰り返し相互作用させることでレーザー発振を実現するものであった¹¹⁾ (Fig. 7)。直線加速器を用いる場合もあれば蓄積リングを用いる場合もある。これまでに赤外・可視・紫外の領域で高出力のレーザー光が得られている。例えばUVSOR-IIの自由電子レーザーは、波長800 nm から215 nm という広帯域で発振が可能であり、出力も1 W を超える¹²⁾。しかし発振波長をより短波長の真空紫外の領域に持っていかようとすると、高い反射率のミラーが存在しないために発振は急激に難しくなる。蓄積リング自由電子レーザーの短波長化で先頭を走る第3世代シンクロトロン光源 Elettra でも最短波長は170 nm 付近にとどまっている¹³⁾。先に述べた直線加速器を用いたシングルパス型の自由電子レーザーは、まさにこの制約を打ち破るために考案されたものである。光共振器を用いて繰り返し光と電子を相互作用させることで発振を実現する代わりに、長いアンジュレータの中を1回通過する間に発振を起こそうとしている (Fig. 8)。

SASEを原理とする自由電子レーザーでは、これまで述べてきた過程のいくつかが連続して起きる。まず、電子バンチは長いアンジュレータの最初の部分で通常のアンジュレータ放射光を放出する。電子密度の揺らぎにより偶然他よりも位相のそろっている電磁場が形成されると、バンチ

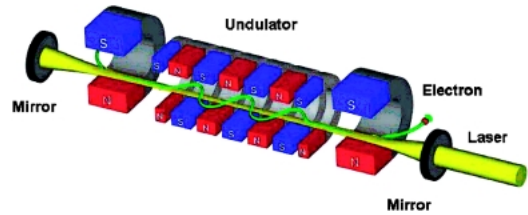


Fig. 7. Resonator-type free electron laser.

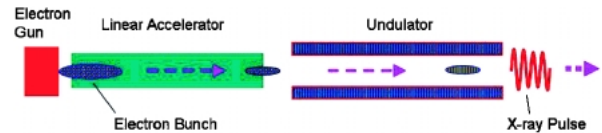


Fig. 8 Single pass FEL based on SASE.

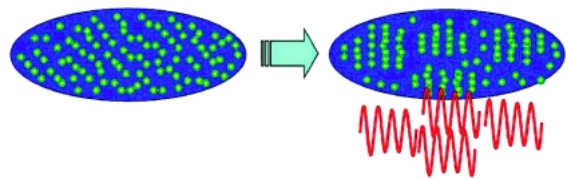


Fig. 9 Micro-bunching in SASE process.

内部にエネルギー変調が形成され、アンジュレータ中を少し進む間に、行路長のエネルギー依存性により密度変調に変換されマイクロバンチが形成され始める。マイクロバンチはコヒーレントな光を出すと同時に増幅も行う。増幅された光により更にマイクロバンチが進む。これを繰り返すことで、光の強度は急激に増大する。これがSASEにおける発振の過程である。

SASEで発振の種となる光は、電子バンチ自身が放出したアンジュレータ光であり、その波束の長さは高々光の波長をアンジュレータ周期数倍した程度である。通常これは電子バンチ長に比べて非常に短い。したがってひとつの波束が電子バンチ全体を覆うことはない。電子バンチのいろいろな部分で独立に、異なるパワーと波長で発振が立ち上がる。先に述べたような過程が、電子バンチ内部のあちこちで独立に起きるわけである (Fig. 9)。この結果、最終的に得られる光パルスは、波長や位相の異なるいくつかの波束の集合体となるため、その時間構造やスペクトル構造は多数のスパイクからなる複雑な構造を持ち、また、その構造はパルス毎にランダムに変化する。単に大強度を利用するだけではなく、コヒーレント光であるという特徴を活かした、より洗練された利用研究に用いる場合に、これらは問題となってくる可能性がある。

これを防ぐために、外部から自発光を上回る強度のコヒーレント光を注入し、それを発振の種とすることで、電子バンチ全体のマイクロバンチングの位相をそろえることが検討されている。電子バンチ全体を覆うようなコヒーレントな光パルスを注入することで電子バンチ全体にわたっ

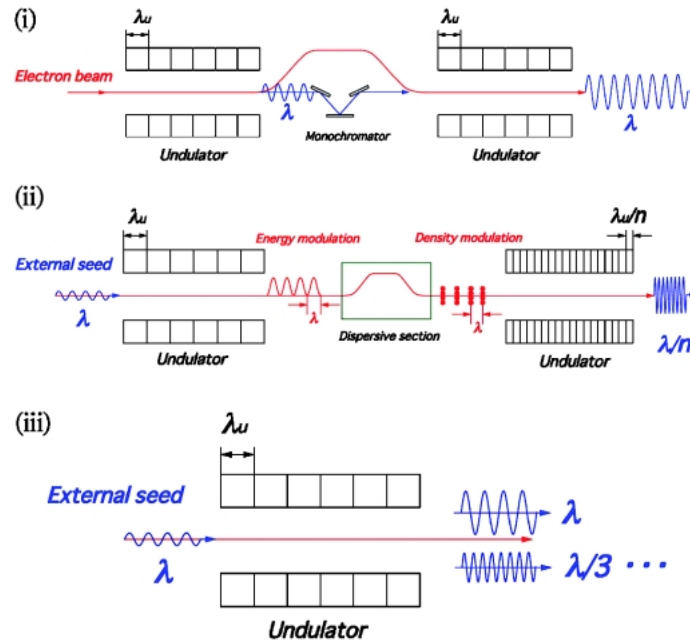


Fig. 10 Various scheme of single-pass free electron laser with seeding, (i) using monochromatized SR as a seed (DESY)¹⁵⁾ (upper), (ii) high gain harmonic generation, HG (BNL)¹⁶⁾ (middle) and (iii) nonlinear harmonic generation, NHG (lower).

て位相のきれいにそろった発振を起こそうというのである。

このシード光注入方式で最も問題となるのはシード光をどうやって作るのかという点である。状況に応じて様々なアイデアが考えられている。最も簡便には既存のレーザーを使うものである。この場合、レーザーパルスと電子ビームパルスの同期が取れている必要がある。既存のレーザーの存在しない波長域の場合には、他の手法を考える必要がある。その候補のひとつはガスに極短パルスレーザーを打ち込むことで生成されるコヒーレント高調波である¹⁴⁾。シンクロトロン放射光を利用する手法も提唱されている (Fig. 10 (i))。アンジュレータ光を分光器を通すことで単色性を高めたものをシード光とすることで、SASE型FELにおける発振スペクトル幅を小さくすることが提唱されている¹⁵⁾。通常型レーザーと電子ビームにより発生させたコヒーレント高調波光をシード光としてさらにその高調波を発生させる、これを繰り返すことで短波長のコヒーレント光を得るアイデアも提唱されている¹⁶⁾ (Fig. 10 (ii))。

7. 国内における取り組み

シード光を用いたコヒーレント光発生は、大きな可能性を秘めた技術であるが、残念ながら国内においてはこれまで実際にビームを用いた研究はほとんど行われてこなかった。しかし、最近になって UVSOR-II、さらには SCSS 試験加速器において、シード光注入の基礎的な研究が開始された。

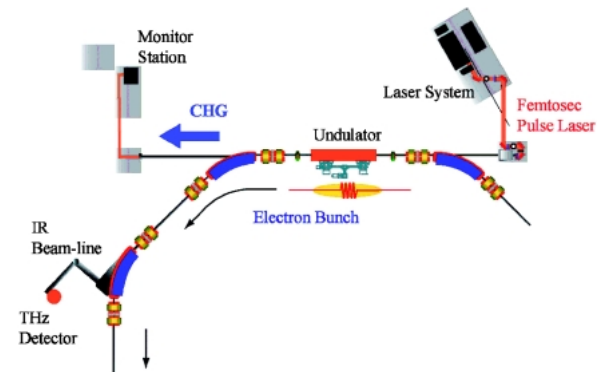


Fig. 11 Experimental setup of the seeding experiment at UVSOR-II.

(1) UVSOR-II

分子科学研究所 UVSOR-II には光共振器を用いた自由電子レーザー装置が稼動している。この装置を流用してレーザーと電子ビームの相互作用を利用した光発生の研究が開始された。実験装置の概要は Fig. 11 に示すとおりである。フェムト秒レーザーにより電子パンチの一部を切り出すいわゆるレーザーパンチスライスの実験や、コヒーレント高調波発生の実験が行われている。後者に関しては、外部から Ti : Sapphire レーザー (波長 800 nm) を注入して、リングを周回する電子パンチとアンジュレータ中で相互作用をさせ、3 倍コヒーレント高調波を発生することに成功している¹⁷⁾。

UVSOR-II では、安定性に優れる電子蓄積リングの電

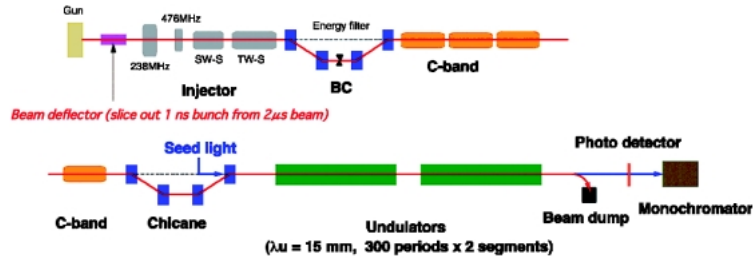


Fig. 12 Seeding experiment at SCSS prototype.

子ビームを用いることで、コヒーレント高調波発生メカニズムやコヒーレント高調波光の性質に関する基礎的な研究を系統的に進めようとしている。蓄積リングでは、ビーム品質、とりわけビームの尖頭強度が直線加速器に比べて劣ることから、増幅までは期待できない。しかし比較的手軽に真空紫外域でのコヒーレント光を得ることができる。それらを通常放射光と併用して使うような利用法も出てくるのではないかと期待もある。

(2) SCSS 試験加速器

SCSS 試験加速器は、既に SPring-8 サイトで建設がスタートしている X 線自由電子レーザー計画のテスト機として建設されたものである¹⁸⁾。電子エネルギー 250 MeV の高性能直線加速器の下流に 4.5 m 長の真空封止型アンジュレータが 2 台設置されている (Fig. 12)。この施設は順調に立ち上がり既に波長 49 nm で発振の立ち上がり観測されている¹⁸⁾。シード光注入実験は、直線加速器の終端部のシケインと呼ばれるセクションを利用して行われた¹⁹⁾。この実験では、シード光として、Xe ガスに 800 nm の Ti : Sa レーザーを注入して発生させた 5 次高調波 (波長 160 nm) を使い、電子ビームエネルギーを 150 MeV に調整しアンジュレータをシード光波長に合わせ増幅を試みている。予備的な実験の段階であるが、既に、増幅を示すデータが得られている。

ガスを用いたコヒーレント高調波の FEL 増幅というのは世界でも初めての試みである。また、レーザー光陰極電子銃ではなく熱電子銃を用いた直線加速器とシード光を組み合わせたという点でも初めての試みということになる。レーザー光陰極電子銃では、電子銃駆動用のレーザーをシード光発生にも用いることで自動的に電子パルスとシード光パルスの同期が確立できるが、熱電子銃の場合にはそうはいかない。この場合にも、シード光注入が問題なく行えることを実験的に確認するということが目的のひとつとなっている。

8. シード光注入の様々な可能性

シード光を注入することで、SASE 方式 FEL 光の特性

改善やコヒーレント高調波を生成することなどを説明してきたが、少し違った表現でシード光注入による光発生の可能性について説明したい。

シード光を電子ビームに注入することで、増幅、高調波の発生ができることは既に説明したが、それ以外にも様々な可能性を持っている。例えば偏光制御である。マイクロバンチングした電子ビームを、可変偏光アンジュレータを通すことで、様々な偏光のコヒーレント光を発生することができる可能性がある。ガスと極短パルスレーザーを用いたコヒーレント高調波光で生成される数多くの次数の高調波を電子ビームと相互作用させ、ある特定の次数だけを選択的に取り出す、すなわちフィルタとして機能させることも可能かもしれない。また、マイクロバンチングした電子バンチ全体を加速器の手法を用いて圧縮することで、放出されるコヒーレント光の波長を変えることも可能かもしれない。このように、電子ビームは、増幅、高調波発生、偏光制御、フィルタリングあるいは波長変換といった様々な働きをする可能性がある。

このような様々な可能性を秘めたシード光を用いた光発生であるが、我が国では実験的な研究がようやくスタートした段階にある。先に述べた 2 つの施設での研究は、実験装置のセットアップが完了し、様々な機器が正常に動作し、マイクロバンチングとその結果としてのコヒーレント高調波発生やシード光の増幅が観測できた、というごく基礎的な段階にある。巨大プロジェクトである第 1 世代 X 線自由電子レーザーの建設と並行して、実験の比較的容易な長波長領域で研究を継続し、様々なアイデアを実験的に検証し、また技術を蓄積していく必要がある。そのためには、UVSOR-II や SCSS 試験加速器といった国内では数少ないシード光注入実験の可能な加速器を有効に活用し、十分なビームタイムと資金、マンパワーも投入していく必要がある。今後も各方面からの支援を期待しているところである。

参考文献

- 1) <http://www-ssrl.slac.stanford.edu/lcls/>
- 2) <http://www.xfel.net/en/index.html>
- 3) <http://www-xfel.spring8.or.jp/>
- 4) 北村英男, 新竹 積, 石川哲也: 放射光第 16 巻第 2 号

- (2003), 1.
- 5) K. J. Kim: Phys. Rev. Lett. **57**, 1871 (1986).
 - 6) J. Knobloch: Proc. EPAC 2006 (Edinburgh, 2006), 65.
 - 7) L. H. Yu: Proc. FEL 2004 (Trieste, 2004), 1.
 - 8) T. Nakazato et al.: Phys. Rev. Lett. **63**, 1245 (1989).
 - 9) (例えば) 高橋俊晴: 加速器 Vol. 2, No. 1 (2005), 11.
 - 10) E. D. Courant, C. Pellegrini and W. Zakowicz: Phys. Rev. A., Vo. 32, No. 5, 2813 (1985).
 - 11) (例えば) 保坂将人: 放射光 Vol. 17, No. 6, 344 (2004).
 - 12) M. Hosaka, M. Katoh, A. Mochihashi, J. Yamazaki, K. Hayashi and Y. Takashima: *Nucl. Instrum Meth. Phys. Res. A* **528**, 291-295 (2004).
 - 13) F. Curbis et al.: Proc. FEL 2005 (Stanford, 2005), 473.
 - 14) (例えば) 緑川克美, 須田 亮, 高橋栄治, 鍋川康夫: 応用物理 73巻167 (2004).
 - 15) V. Miltchev, J. Rossbach, B. Faatz and R. Treusch: Proc. FEL 2006 (Berlin, 2006), 162.
 - 16) L. H. Yu: Phys. Rev. A 44, 5178 (1991).
 - 17) M. Labat et al.: Proc. FEL 2006 (Berlin, 2006), 37.
 - 18) T. Shintake et al.: Proc. FEL 2006 (Berlin, 2006), 33.
 - 19) G. Lambert et al.: Proc. FEL 2006 (Berlin, 2006), 138.

● 著者紹介 ●



加藤政博

自然科学研究機構分子科学研究所極端紫外光研究施設・教授

E-mail: mkatoh@ims.ac.jp

専門: 加速器, ビーム物理学

【略歴】

1986年東京大学大学院理学系研究科物理学専門課程中退, 理学博士。高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所助手, 分子科学研究所助教授を経て, 2004年より現職。2007年6月現在, 分子科学研究所分子制御レーザー開発研究センター教授(併任), 総合研究大学院大学物理科学研究科教授(併任), 名古屋大学大学院工学研究科客員教授, 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所客員教授。



保坂将人

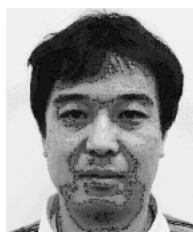
名古屋大学大学院工学研究科 准教授

E-mail: m-hosaka@nucl.nagoya-u.ac.jp

専門: 加速器

【略歴】

1994年東北大学理学研究科博士課程修了, 博士(理学), 分子科学研究所極端紫外光研究施設を経て2006年11月より現職。



原 徹

理化学研究所播磨研究所放射光科学総合研究センター・専任研究員

E-mail: toru@spring-8.or.jp

専門: 挿入光源

【略歴】

1995年パリ第11大学博士課程修了, 理学博士。理化学研究所入所後 SPring-8 挿入光源の開発に従事し, 最近は X 線自由電子レーザーの建設に参加, 現在に至る。

Generation of short wavelength coherent radiation with seeding

Masahiro KATOH

UVSOR, Institute for Molecular Science
38 Nishigo-naka, Myodaiji, Okazaki 444-8585, Japan

Toru HARA

RIKEN SPring-8 Center, RIKEN Harima Institute
1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5148, Japan

Masahito HOSAKA

Graduate School of Engineering, Nagoya University
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603, Japan

Abstract By means of the seeding technique, high energy electron beam shows various functions such as amplification, harmonic generation, polarization control, wavelength filtering or wavelength shifting. Such functions combined with the modern laser technologies will be the base of the single pass free electron laser of next generation. Experimental studies have been started recently at UVSOR-II and the SCSS test accelerator.