

【RF 電子銃】

入射器からの電子ビームサイズを小さくするためには、ビームを生成する電子銃のところからエミッタンスの小さな高品位ビームを作り出す必要があります。このため、光電子陰極にレーザービームを当てて発生する電子を強力な高周波で加速する RF 電子銃を使用します。

【エミッタンス】

エミッタンスは、粒子の集団（ビーム）の運動の秩序・揃い方を表します。エミッタンスが小さいと、ビームサイズが小さく、また各粒子のエネルギーの拡がりも小さいビームになります。SuperKEKB でルミノシティを上げるためには、エミッタンスの値が低いビームを作り出すことが重要です。電子、陽電子リングでは、定常状態のエミッタンスは、リング内の装置の状態だけで決まります。エミッタンスを下げるためには、磁石の配置の工夫や磁石の設置誤差を小さくすること等が重要です。

【クォーク】

素粒子の一種。標準模型では、アップ(u)、ダウン(d)、ストレンジ(s)、チャーム(c)、ボトム(b)、トップ(t)の 6 種類からなります。単体では存在できず、中間子（メソン）やバリオンと呼ばれる複合粒子の形で存在します。

【高周波加速空洞】

大電力の高周波電場で電子や陽電子のビームを加速し、ビームのエネルギーを高める装置。リングを周回するビームは放射光の放出等によってエネルギーを失うが、加速空洞からエネルギーを供給されて、一定のエネルギーで周回し続けます。SuperKEKB はビーム電流が高いので、ビーム不安定を起こさず、大電力を供給するための工夫をしています。

【小林・益川理論】

1973 年に小林誠と益川敏英が提唱した、当時すでに実験的に発見されていた CP 対称性の破れを説明するための理論。3 世代（6 種類）以上のクォークが存在すれば CP

対称性が破れることを示し、6 種類のクォークを予言しました。当時は 3 種類のクォークしか知られていませんでしたが、予言どおり 1974 年にチャームクォーク、1977 年にボトムクォーク、1995 年にトップクォークが発見されました。さらに、Belle 実験により、CP 対称性の破れが、この理論で提唱された機構でおこっていることが証明されました。

【CP 対称性の破れ】

粒子と反粒子の本質的な性質の違いのこと。CP 対称性の破れがある、すなわち粒子と反粒子の振る舞いが同じでないことは、1964 年にクローニンとフィッチにより実験的に発見されました。標準模型では、CP 対称性の破れは小林・益川理論により 6 種類のクォークが存在することによって説明されています。なお、C は電荷 (Charge)、P はパリティ (Parity=空間反転) のことです。

【磁石の精密設置】

加速器の性能を設計通り発揮するためには、磁石を設計通り精密に配置（アライメント）しなければなりません。加速器が大型になると電磁石総数も 1000 台以上になります。これら全ての電磁石を設計軌道上に例えば 0.1mm レベルという精度で並べるには精密測量をするための道具や技術、大量の測量データを処理する技術等が必要です。また SuperKEKB のように垂直方向のビームサイズが数十 nm という小さいビーム同士を衝突させる場合には、トンネルや地盤の長期・短期的変動やサブミクロンレベルの常微振動（特に垂直方向）でさえも時間変動するミスアライメントとして加速器の性能を劣化させる可能性があります。加速器の性能を出すためには電磁石初期設置時に於けるアライメント誤差を設計許容範囲内に抑えること、更には時間変動により生じるミスアライメントへの対応策をしっかりと準備すること、が重要な鍵となります。

【真空ポンプ】

真空ポンプは、ビームパイプ内を超高真空にするための装置です。SuperKEKB では、非蒸発型ゲッター(NEG)が主ポンプとして採用されます。NEG には、チタンやジルコニウムといった特殊な金属が入っていて、ビームパイプ内の気体分子をそれらの清浄な表面にくっつけることで真空状態とします。やや高い圧力領域では、補助ポンプとしてスパッターイオンポンプも使用されます。大気圧から中真空領域まで排気するには、オイルフリーのターボ分子ポンプやスクロールポンプを使います。

【素粒子】

物質を構成する最小の粒子。歴史的には陽子や中性子も素粒子と呼ばれていましたが、それらはさらに小さな粒子(クォーク)で構成されている複合粒子であることが解明されており、厳密な意味での素粒子ではありません。現在の標準模型では、6種類のクォークと6種類のレプトンが素粒子であるとされています。

【ダークマター】

暗黒物質ともよべれます。宇宙空間に大量に存在し、重い質量を持っていることはわかっているものの、他の粒子とほとんど反応しないため、未だ観測されておらず、正体もわかりません。超対称性粒子も暗黒物質の候補の一つです。

【ダンピングリング】

陽電子源で生成されたビームは大きなエミッタンスを持っているため、そのままではリングに入射できません。線形加速器の途中でダンピングリングという加速器にビームを入れ、しばらく(40ms程度)周回させてビームを冷やし、エミッタンスを下げた後再び線形加速器に戻し、最終エネルギーまで加速します。

【中間子】

メソンとも呼ばれる、クォークと反クォークが結合してできた粒子です。現在知られている6つのクォークとその反

粒子の任意の組み合わせで作られます。歴史的には、湯川秀樹により原子核内の陽子と中性子を結合する粒子として導入され、原子核のサイズからその質量が予言されました。後に湯川の理論通りの質量をもつ粒子が発見され、予言は実験的に確認されました。

【超対称性理論】

標準理論においては、電磁気力と弱い力が破れるエネルギースケールに対応するヒッグス粒子が予言されますが、これを単純な素粒子と考えるとその質量の大きさに別の観点から問題が生じます。超対称性理論はそれを解決するために提唱された新しい理論です。この理論では、SUSY粒子(超対称性粒子)と呼ばれる大量の未発見の粒子の存在することとなります。標準模型を超える理論の中で最も有力なものであり、様々な実験で積極的に探索されています。

【超伝導四極電磁石】

衝突点直前では電子・陽電子ビームを最終形状に絞り込む必要があります。この非常に強い収束力を与える必要があります。この非常に強い収束力を発生する為に、磁石口径内で半径方向に磁場勾配を持つ超伝導四極電磁石が使われます。超伝導四極電磁石は、ニオブチタン材で作られた4個の超伝導コイルから構成されています。このコイルには電流密度として1平方mmあたり820Aの電流が流されます。この電流密度は、常伝導電磁石の100倍以上に相当し、この結果、強力な磁場と磁石の小型化が可能となります。特に、ビーム衝突点に最も近い超伝導4極電磁石はコイル内半径が25mmしかなく、この磁石の実現は超伝導技術でしか達成しえません。又、超伝導電磁石を運転する為には四極磁石を絶対温度4K(-269°C)まで下げる必要があります。磁石の冷却の為に液体ヘリウムが使用されます。

【電磁石】

電子や陽電子をデザイン軌道上を走らせるために、加速器では偏向電磁石、四極電磁石、六極電磁石などの主要な電磁石と、軌道の微調整用に多くの補正二極電磁石が使用されます。偏向電磁石は、加速器中を回っている荷電粒子（ビーム）を一定の角度曲げます。光学系でのプリズムの役目に相当します。四極電磁石は、ビームが中心軌道の近くから離れないように収束力を与えます。光学系での凸レンズ、凹レンズの役目をはたします。またビームは有限のエネルギー幅を持っています。粒子のエネルギー差により、四極電磁石から受ける収束力が異なります。それを補正するのが、六極電磁石の役割です。光学系での色収差補償レンズ系にあたります。補正二極電磁石は小型の偏向電磁石で、ビーム軌道の誤差を補正します。水平軌道を補正する水平補正二極電磁石と、垂直軌道を補正する垂直補正二極電磁石の2タイプがあります。SuperKEKBでは、1800台以上の主要電磁石とおよそ900台の補正二極電磁石が使用されます。

【バリオン】

3つのクォークが結合してできた粒子。原子核を構成する陽子や中性子は、アップクォークとダウンクォークからなるバリオンです。

【B中間子】

5番目に重いクォークであるbクォークを含む中間子。KEKB加速器を用いたBelle実験で、B中間子におけるCP対称性の破れが発見されたことにより、小林・益川理論が正しいことが証明されました。SuperKEKB加速器でも大量のB中間子を作り出します。

【ビーム電流】

ビームの電流は各点で1秒間に通過する電荷量として定義されます。リング加速器の場合、周回周波数（約100kHz）×リングに存在する全電荷量となります。SuperKEKBのLER（陽電子リング）で、約1000億個の陽電子の塊（バンチと呼ばれる）が2500個ほど周回している場合、全電

流は約4Aとなります。

【ビームパイプ】

蓄積リングの中を回っている電子や陽電子のビームは、気体の分子と衝突するとエネルギーを失ったりして回り続けることができなくなります。そこで、ビームが走るところを細長い真空容器で囲い超高真空状態（大気圧の10兆分の1程度）にします。この真空容器をビームパイプと呼びます。SuperKEKBの陽電子リングでは、パイプ内の電子によってビームが不安定になるのを防ぎ、放射光による熱負荷を下げるため、ビームが通る中央のパイプの横に「アンテチェンバー（控えの間）」が付いたビームパイプを新たに採用します。SuperKEKBのビームパイプは銅あるいはアルミ合金で作られます。

【ヒッグス粒子】

標準理論では、あらゆる粒子の「本来の」質量はゼロでなければなりません。現実の粒子の多くが質量を持つことを説明するために、真空中は「ヒッグス場」によって満たされていると考え、ヒッグス場と相互作用する粒子は真空中を進む際に抵抗を受けるため、質量を持つことになるとされています。これをヒッグス機構とよぶのですが、この機構ではヒッグス粒子とよばれる素粒子が予言されます。ヒッグス粒子は現在の標準理論で登場する粒子の中で、唯一未発見の粒子です。

【標準理論】

標準模型（標準モデル）とも呼ばれます。素粒子の振る舞いを記述する素粒子物理学の基本理論で、電弱統一理論、量子色力学、小林・益川理論などを含んでいます。標準理論は現在知られている素粒子に関する実験事実をよく説明していますが、理論的には不完全な点が指摘されています。従って、標準理論を超えた新しい物理法則が存在して、現在の標準理論はこの理論の低エネルギーでの近似法則であると考えられています。

【陽電子】

電子と同じ性質ながら正の電荷を持つ素粒子で、電子の反粒子です。1932年にアンダーソンにより宇宙線の中から発見されました。SuperKEKBでは加速した電子と陽電子を衝突させることにより、大量のB中間子を生成させます。

【陽電子源】

電子の反粒子である陽電子は、高エネルギー電子ビームをタングステンの塊に衝突させて人工的に作ります。SuperKEKBでは大電流ビームが必要なので、生成される陽電子をより効率よく捕獲し、かつ加速するための工夫がされています。

【余剰次元】

標準理論を超える理論の一種。宇宙の時空は、3次元の空間と時間をあわせて4次元ですが、非常に小さな世界や普通の粒子が感じない世界では5次元目以上の時間が存在するという理論。重力が電磁気力に比べ非常に弱いことを説明できます。カルツァ・クライン粒子と呼ばれる粒子の存在を预言します。

【レプトン】

素粒子の一種。電荷をもつ電子、 μ 粒子、 τ 粒子と、電荷をもたない3種類のニュートリノからなります。クォークと異なり、レプトンは単体でも存在できます。中でも電子は原子を構成する粒子の一つで、電流の担い手としてもなじみ深いです。