

ハドロン加速器の歴史的発展と展望

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 高山健

1924年のIsingによる交流電圧を用いたtwo-gap加速器の提案以後、加速器の進化は急激であった。加速媒体である電場が静電場か時間と共に変動する高周波・マイクロ波の違いはあっても、金属境界(周辺境界)で良くガイドされた電場であることに違いはなかった。加速電場はガウスの法則に従う静電場、ファラデーの誘導法則に従うパルス誘導電場、完全なマックスウェル法則に従う高周波・マイクロ波電場の三つに分類できる。採用する加速電場によって加速器形態も異なる。加速する量子ビームの種類、最終的に得たいビームパラメーター(エネルギー、電流、パルス構造)に応じてそれらを使い分けてきた。静電場と高周波・マイクロ波電場を利用したタンデム加速器、サイクロトロン、シンクロトロンは原理的には既にその進化の頂点に達していると言えるだろう。第二次世界大戦後のシンクロトロン、電子線形加速器、Alvarez加速器の進化には大戦中のレーダー開発の必要性から一気に進んだ高周波・マイクロ波技術の蓄積は決定的役割を担った。レーダー開発と航空機と艦船への配備に米国は現代の貨幣価値換算で、併せて15兆円を支出したと言われている。これを高周波加速器のR&D予算と見るならば、その進化の速度は当然の帰結だったかもしれない。

一方、単純な原理に依拠するパルス誘導電場を用いた誘導加速器は静電加速器なみに汎用な筈であるが、要素技術の進化が遅れた。ベータートロンの実証後、1960年以降に特殊な目的で開発された線形誘導加速器を除いて、注目する進化はなかった。最近、誘導加速装置をMHzオーダーの高繰り返しで動作させることにより、高周波の利用を前提とした円形加速器の加速媒体をパルス誘導電場で置き換えた誘導加速シンクロトロンがKEKで実証された。誘導加速装置は周波数のバンド幅制限を受けないので、これまで静電加速しかあり得なかったU1+、C-60などのクラスターイオンの円形加速が可能になろうとしている。

加速電場強度の限界は真空に面した金属表面で起こる物理的素過程であるトンネル効果で決まってしまう。この限界は既に1970年代以前から指摘されていた。その結果、境界の影響を直接受けなくて高電場を得る手法が模索されてきた。電子雲の中に閉じ込めた状態でイオンを加速する集団加速器などはその代表的な例である。しかし、電子雲自身を高速に加速する過程で、金属境界と電子雲の相互作用の結果引き起こされる集団不安定性のためとても長い距離を維持できないと云う数学的証明が出て、あえなく放棄された。その後はいかに周辺境界との相互作用を無くした媒体による加速手法があるかの研究に世界の関心は集まった。この研究の流れにあるものの代表がレーザーで直接・間接的にアシストされたレーザー加速と言えるだろう。

講演ではこれらハドロン加速器の歴史的進化を振り返った上で今後の展望について紹介する。尚、講演の趣旨は必ずしも超大型や新型の加速器の紹介ではない事を断っておく。