

12VD ペレットロン加速器の電圧特性改善

加速器センター 石井 聡
 大島 弘行
 木村 博美
 田島 義一
 皆倉 輝志
 大和 良広
 鹿山 政彦
 物理学系 高橋 努

論文要旨

12VD ペレットロン加速器の電圧特性の改善を図るため、コラム機構等の整備を行った結果、最大発生電圧を12.78MV まで引き上げることが可能となったので、状況及びこれに関連した技術的手法等について報告する。

1. はじめに

筑波大学加速器センターに設置されている12VD ペレットロン加速器は、タンデム型静電加速器と呼ばれるタイプで、最大設計電圧12MV (1200万ボルト) を発生する静電加速器 (以下加速器)

である。設置以来15年間にも亘り、原子核から医学に至るまで幅広い分野での研究実験に利用されている。この間の年度別運転状況を示す。この図から分かるように、加速器は年間約3000時間も使用されている (図-1 参照)。

加速器は、いかに高い加速電圧を発生させ、こ

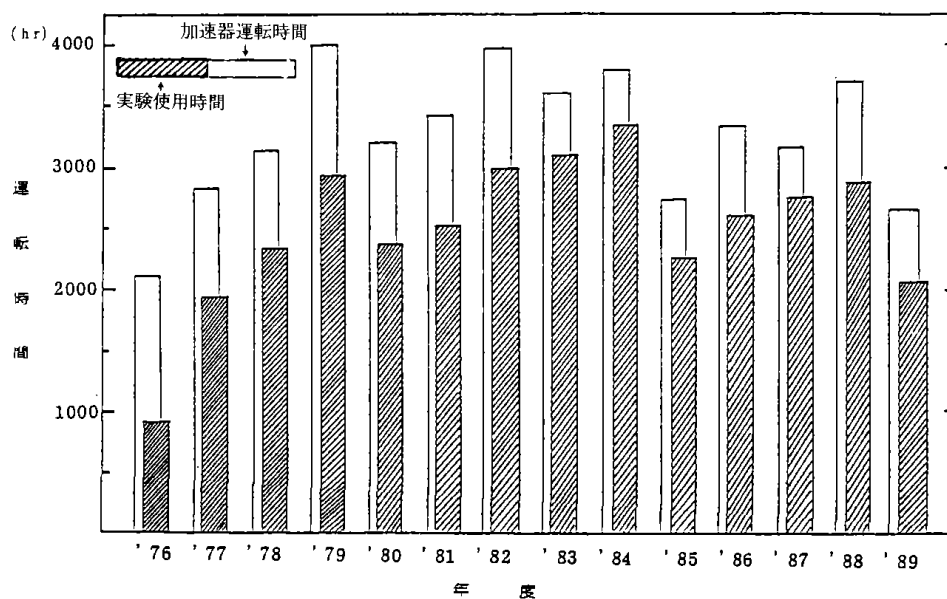


図-1 年度別加速器運転時間

れを長時間安定に保持できるかが最大の課題である。そして、その発生電圧および安定性を制限しているのが放電である。

放電の要因として一般的に取り上げられているのは加速管であり、内部で発生する小放電等が大きく影響するものと考えられている。しかし、我々は別の観点から放電の原因について考察し、耐電圧構造物等に関連した放電も加速器の電圧特性を考慮するうえで見落としてはならないと考えた。そこで、これに最も影響すると思われる加速器タンクの内壁塗装、コラムポスト電極の接触などについての改善・改良を行った。その結果、加速器の発生電圧の向上及び、放電発生回数の減少等の成果が得られた。ここでは、この結果を生んだ要因の分析と今まで我々が行ってきた加速器の全体的な性能向上の過程を総括して報告する。

2. 耐電圧構造と運転状態監視

加速器は、高電圧を発生するターミナルをはさんで、上側を低エネルギー（L・E）、下側を高エネルギー（H・E）と呼び、それぞれ12のコラムユニットを積み重ねた構造をもっている（図-2参照）。コラム1ユニットを構成しているのは、加速管（3本）とこれを支えるキャスティングとコラムポスト（4本）及びフープ（19本）であり、1MVの耐電圧が得られるようになっている。フープは、コラムユニットの電位勾配をなだらかにするための物である。また、ターミナルに発生する電圧を安定に保持するため、各加速管及びポスト（4本の内1本）にコロナ針と呼ぶ電極を取り付け、コロナ放電によるコロナ電流を流すことにより電圧の分割及び安定化を図っている。このため、ポストと加速管は電位が不均衡にならないよう、ワイヤーで結ばれている。（図-3参照）

加速器タンク内は絶縁のために6フッ化硫黄ガスが5気圧充填され、粒子を加速する加速管内部は、 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ Torrの超高真空に保持されている。なお、加速器を運転中に加速管内で発生する小放電等の状況や絶縁ガスの状態を把握するため、加

速管内の真空、X線の線量、コロナ電流の値を常時モニターしている。

3. 過去の電圧特性改善

我々は以前から、加速器を高い電圧で安定に使

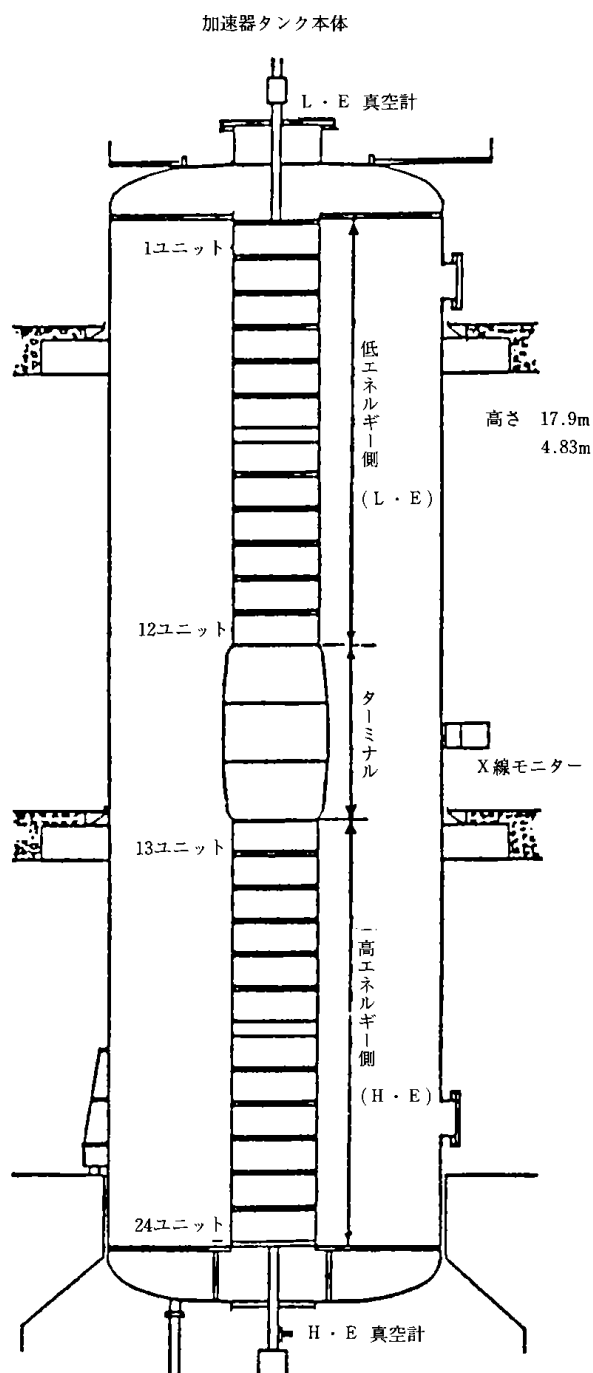


図-2 加速器全体図

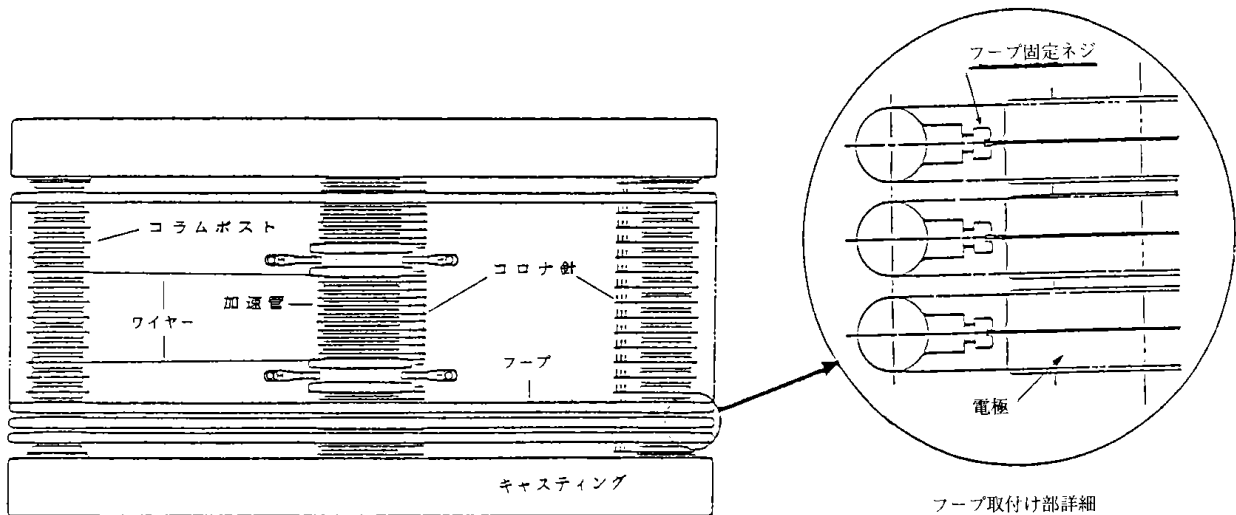


図-3 コラム1ユニット

用するために、次のような方策を試みて来た。

- (1) コロナ針の改良 (1981年)
- (2) 効率的なコンディショニング方法の検討 (1983年)
- (3) ターミナルバルブの設置 (1983年)
- (4) 加速管のアーク放電クリーニング (1984年)
- (5) 加速管の真空排気系改良 (1987年)

これらは、加速管内の小放電を少なくするために一般的に行われている手段であり、加速管の耐電圧性能を向上させて加速器の性能向上を図ったものである。実際これらの方策により到達真空の向上や脱ガス効果等の成果が見られたが、12MVを超えた電圧で長時間安定に加速器を運転するまでには到らなかった。

加速管の電圧特性改善に関しては、これまで行なわれた作業によりほとんどの対策が施されており、より以上の性能向上を図るには加速管の構造を改造する以外に方法がなくなった。しかし、それには多くの時間と費用を要することから将来計画として考え、新たな方策として、加速管以外の不安定性の要因を考察し対策を講じることにした。

4. 不安定要因の考察

ここでは、コラムを通じてタンクに達する直接

的な放電を考える。この放電は、タンク内壁と高電圧部との間の電位勾配に乱れが生じて発生する。我々はその原因として、タンク内壁に付着した塵芥が加速器の電圧により帯電し、放電を誘発するものと考えた。特に、塵芥の発生源となるタンク内壁塗装の剝離が目立ってきたことから、1989年にタンク内壁の全面塗り直しを行った。この結果、ターミナル電圧10MV以上の放電発生回数が、塗装の塗り直し前と比べて減少が認められた(表-1参照)。放電発生回数の減少により加速器を長時間安定に運転することが可能になったにもかかわらず、ターミナル電圧の向上にはその効果が顕著に見られなかった。このことは、加速器の発生電圧を制限する要因が別に存在することを示している。そこでその原因が、耐電圧構造物等と何等かの関連があるものと考えた。それは、近年の加速器整備作業において、ほとんどのフープとポスト電極の接触部分に、小放電によると思われるカーボン状の物の付着が見られるようになったためである。フープは、加速器の保守作業においてコラム内の整備を容易にするため、電極からの取外しが簡単に行えるような設計になっている(図-3詳細参照)。このため電氣的に完全な接触を得るのが難しく、前述の現象も、取付け取外しの繰返しによるフープの歪みや固定ネジの緩みが電極との間に隙間をつくり、電位差が生じ

表-1 加速器整備後の電圧と放電発生回数

加速器整備 時期 放電時の ターミナル電圧 (KV)	1988			1989			1990
	3月	6月	9月	3月	8月	10月	3月
~10.0	2	15	9	0	1	4	1
10.0~10.5	3	10	20	2	1	1	1
10.5~11.0	1	9	12	1	6	1	2
11.0~11.5	0	0	0	4	4	0	2
11.5~12.0	2	-	-	1	1	3	3
12.0~12.5	-	-	-	-	-	0	2
最高安定電圧	11.66	11.30	11.45	11.64	11.52	12.15	12.75
備考				タンク内面塗装			フープコンタクト 調整

て発生しカーボン状の物が生成されたと考えられる。このような現象が高電圧時にコラム全体で発生しているとすれば、放電を誘発することが十分考えられる。

この小放電は、加速管のコロナ電流とコラムポストのコロナ電流にも関係している。加速管とポストのコロナ電流は、それぞれのコロナ針のギャップを調整することで、電流値を等しくできる。電流値は、時間と共に針先の消耗等により減少するが、それにも増して加速管のコロナ電流が急激に減少する。つまり、ポストを流れる電流が加速器の電圧を大きく左右するのではないかと考えられる。加速管とポストは、電位に大きな差が生じないように数箇所接続されているので、加速管とポストの間で極部的とはいえ電流の移動があると考えられるから、読み出された値がそれぞれのコロナ針を流れている電流の値とは言えないが、加速器の運転状態において、コロナ電流の大部分は、コラムポスト側を流れる傾向があるといえる。しかも、コロナ電流は直流電流として読み

出しているが、コロナ放電によって流れていることから、非常に速い成分を持つ高周波電流と、同等の性質を有すると考えられる。つまり直流的に見て、インピーダンスが小さくても高周波的に見ると、かなり大きいインピーダンスを持つことが考えられる。このことから、フープとポストの接触が悪いと電位勾配に歪みが生じ放電の原因になるのではないかと考えた。

このような考えを元に、すべてのフープ固定部を少しの緩みもないように、徹底的に整備する必要があると判断した。

4. 整備内容

1990年2月から3月の定期整備期間中に細心の注意を払って作業が行なわれた。作業は1600箇所のフープ固定部について、電極との接触やネジの緩み具合を調べることから始まった。緩みが大きい箇所のネジを外して見ると、ネジ穴とのかみ合い部分にも小放電により生じたと思われる跡があ

り、雄ネジと雌ネジ共にネジ山が減少していた。特に雄ネジの長さは5ミリ程なので、ネジ山の減少による固定力の低下が著しかった。このような箇所は150箇所以上もあり、急遽、有効ネジ部の長いものを製作し、これと交換することにした。しかし、フープの固定に使用されているネジは特殊な規格と形状であるため、機械で加工できる部分が少なく、製作は殆ど手作りに近い状態で行われ大変な苦勞をした。また、電極との間に隙間がある箇所も、フープの突っ張りを強くするためにネジを何回転か廻すと、かみ合いが浅くなるので、緩みが生じるものがあり、これも逐次交換した。このため最終的に交換したネジの総数は約300本にも達した。このような整備・調整作業によって、ポスト電極とフープは電気的な接触を回復できた。

5. 結果

コラム周辺の整備後、コンディショニング（ならし運転）によって、順調にターミナル電圧が向上し、最高電圧は12.78MVにも達した（図-4参照）。また、12.2MVでの粒子加速テストにより設計値を超える高電圧で安定に運転できることを実証し（図-5参照）、研究実験での使用も十分可能となった。このような結果を生み出したのは、コラム周辺の整備の結果だけでなくタンク内壁塗装による放電回数の減少により、よい状態で充分なコンディショニングが行えたための相乗効果と言える。

なお、最高電圧での粒子加速テストも行われたが、実用に供するまでの安定度は残念ながら得られなかった。

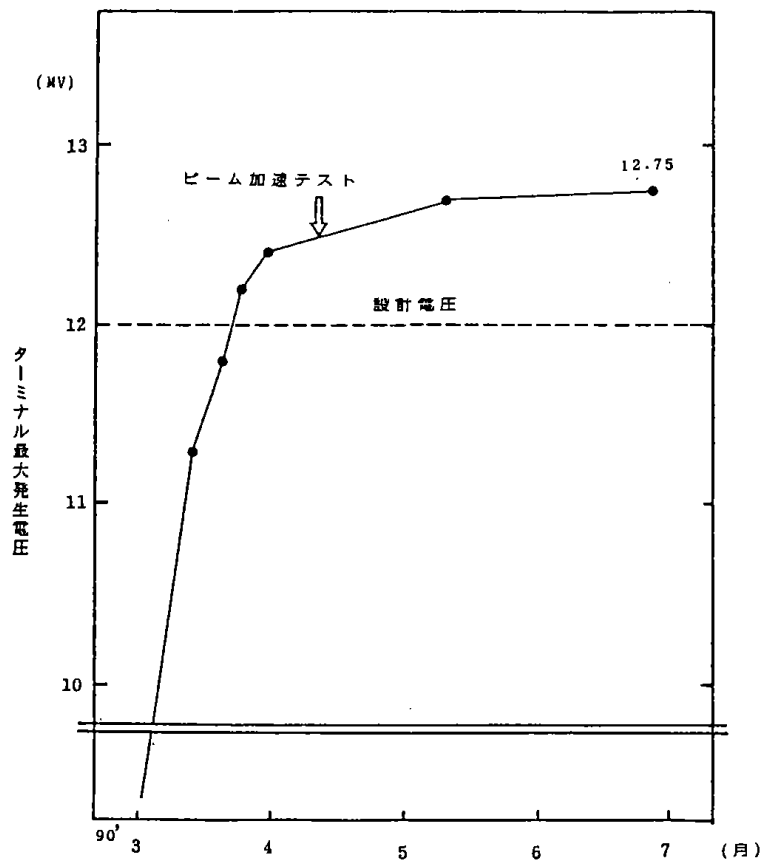


図-4 ターミナル最高電圧の上昇経過

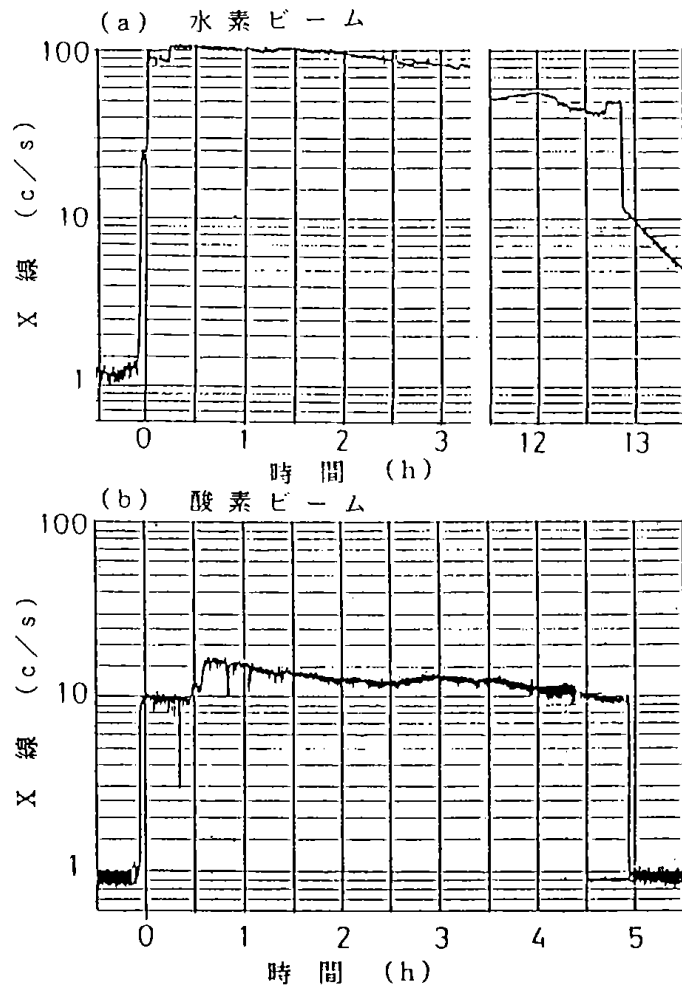


図-5 12MVでのビーム加速テスト

6. まとめ

タンク壁面塗装とコラム周辺の整備が、加速器の耐電圧特性の向上に大きな役割を果たしたことは間違いない。これまで多くの加速器関係者が行って来た加速管中心の改良と異なり、我々独自の方策であったが、好結果を得ることができた。ただし、過去に行った様々な方策があるからこそ、現在の加速器が存在するわけであり、1つ1つの積み重ねが今回の成果に結び付いたとも言える。

今後は、実用電圧14MVを目指して、新型加速

管のテスト等を行う予定である。

謝辞

本報告を作成するに当たりご指導下さった、山内幹雄加速器センター長、加速器センター石原豊之助教授に深く感謝致します。

〔指導助言者：物理学系教授 山内幹雄〕
物理学系助教授 石原豊之