

■ 展 望 ■

パルスパワー技術の開発とその将来

(第2部) 加速器増殖炉

Prospect of the Pulsed Power Technology

Part (II) Accelerator Breeder

上 野 勲*

Isao Ueno



5. 加速器増殖炉

この章では現在使用されている核分裂反応用燃料のウランウム (U) 増殖炉のうち、パルスパワーに依存する核破砕反応増殖方式の加速器増殖炉の説明を行うとともに、その開発に求められているパルスパワー技術を中心にその技術の現状と問題点及び展望について述べることにする。本方式の増殖炉は“燃やせば燃やすほど燃料が増える”という高速中性子増殖炉とは異なるものである。ちなみに、この現在使用されている核分裂反応用燃料のウランウム (U) 1 g 当りの発生エネルギーは約2万キロワット時であり、これに対し、核融合用混合燃料1 g 当りの発生エネルギーは4章で述べたように約10万キロワット時であって、これら両者はつねに比較対照されるものである。

5.1 核燃料増殖

周知のように、増殖用原子炉で核分裂性物質の量が2倍になるのに要する時間を倍加時間 (doubling time) と呼んでいる。従って、増殖炉としてはこの倍加時間を最小にできる増殖方式が最適であることは当然である。特に第1章で述べたように、現在のエネルギーの多消費と高密度消費により21世紀の初期には世界の天然資源の枯渇が極めて重要かつ深刻な問題になることが指摘されている以上、核燃料増殖の倍加時間は極めて重要な評価量である。

核燃料増殖の方式には主として高速中性子による増殖の方式と、高速陽子の核破砕反応による増殖方式とがあり、これら二方式の増殖の特徴を次に述べる。

(1) 高速中性子増殖炉

従来の原子炉はいずれも熱中性子を媒介として連鎖反応を起こさせているが、高速中性子増殖炉(以下FBR

Rと略記)は高速の中性子を直接連鎖反応の媒介として活用している点の特徴であって、その目的は核燃料の増殖と共に、核分裂の際発生する熱を利用することである。例えば、 U_{-238} は中心子を吸収して Pu_{-239} になる。そこでもし、 Pu_{-239} と U_{-238} とを一緒に原子炉の核燃料として燃やすとき、一個の核分裂の際に発生する中性子が1.0以上ならばこの Pu_{-239} が消費し尽くされる以前に U_{-238} の中に新しく Pu_{-239} が生産され、核燃料が増殖されることになる。従って、この方式の原子炉は最初に充填した Pu_{-239} 以外はPuを補充する必要がなく、核燃料親物質として U_{-238} を含む天然Uもしくは U_{-235} を濃縮した際の残留U物質を補充しておけば核燃料が増殖され核分裂エネルギーを取り出すことができる。

この増殖作用は熱中性子を利用する際にはPuの非分裂性の吸収が大きくて実現できないが、高速中性子を利用する場合に初めて非分裂性の吸収が問題でなくなり、増殖が可能となる。この増殖性に関する実験は米国アルゴンヌ研究所アルコ実験所で作ったEBRと呼ばれる試験用増殖炉によって1951年に初めて実証されている。

このFBRはPuと電力が同時に生産できる利点があるので、我が国においても長期エネルギー開発の3大候補の一つとして取り上げており、原型炉「もんじゅ」28万kwが約4,000億円で設置許可され、すでに着工されており臨界が昭和66年、稼動が昭和68年に設定されている。更に、100万kwの実証炉としては約2兆円で1990年代の初めに着工できるように概念設計が進められている。

次に外国におけるFBR計画をみると、英国では原型炉「PFR」25万kwの建設、運転を経て、実証炉「CDFR」130万kwを1986年頃着工したい考えであるという。

米国はこれまでEBR-II, FFTFを運転してきて

* 東京大学工学部強力中性子源開発研究グループ・プロジェクトリーダー

〒113 東京都文京区本郷7-3-1 電気工学科内

いる。原型炉は「クリンチリバー」38万kwで約8,600億円といわれている。

このように日米英3ヶ国はFBRの開発ではほぼ同一歩調の段階にあるが、膨大な建設費用がかかるので、まず最初の提唱国として米国が国際協力を呼びかけてきているのが現状である。

一方FBRおよびその燃料サイクルの開発において世界のトップの座を占めている仏国ではすでに実証炉「スーパーフェニックス」120万kwを建設中で今年中には臨界を目指している。

このようにFBRに関しては、すでに原型炉「フェニックス」で調査し、FBR燃料サイクルが技術的に成立し、意気揚々のはずの仏国において意外にも1982年5月31日のその国会討論での質問書として加速器増殖炉(以下ABRと略記)方式が取り上げられた。この国会討論の真意としては倍加時間、発電コスト等の技術的・経済的観点からのみならず、地政学的観点からも展開の方向が閉がされているとか、いろいろの噂が取り沙汰されている。特にこの中で倍加時間が問題とされる理由として考えられることは、その国が必要とする総エネルギーを供給できるだけの初期燃料の装荷量が充分であれば、倍加時間が50年でも100年でも構わないが、残念ながらその間維持できるだけの資源がないからである。U燃料の使用状況に依存することであるが、現在のU燃料の埋蔵料が30年強程度であるのに対して、FBRの倍加時間は30~50年に、ABRの倍加時間は10年以下になりそうである。

いずれにせよ21世紀のエネルギー戦略として、エネルギー源の多様化を考えざるをえない現状で、世界的に浮上してきた増殖方式が次に述べる高速陽子の核破砕反応によるABRである。

(2) 加速器増殖炉

この加速器増殖によるエネルギーサイクルは加速器を用いて核燃料親物質であるTh-232、あるいはU-238を核分裂性物質であるU-233やP-239に転換して、現在稼働中の原子炉で燃やして、エネルギーを取り出そうという方式である。

Th-232は天然Uの3~4倍、U-235の500~600倍も天然に依存し、天然資源として約40番目に豊富な元素で、偏在的でなく、採取が容易である。

ABRによる核燃料の増殖はFBRのように初期燃料の装荷量を必要とせず、電力から直接核燃料を早急に生産でき、更に炉は未臨界で運転されるため、臨界に伴う安全性の問題が解消され、従って材料とし

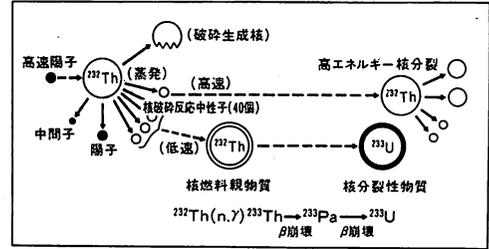


図-10 高速陽子によるトリウムの原子核破砕反応中性子の核燃料増殖

ては広範囲の選択が可能になり、研究開発及びその建設が短時間で済む等々、数多くの利点が挙げられている。

この核燃料増殖の原理は図-10に示すように、陽子あるいは重量子を高エネルギー大出力加速器で加速し、核燃料親物質であるTh-232やU-238に、この加速された高エネルギー陽子を照射し、原子核破砕反応によって発生する大量の中性を核燃料親物質体系内でTh-232をU-233に又U-238をPu-239に、すなわち親物質を核分裂性物質に転換する方式である。

高エネルギー陽子、重陽子粒子の入射エネルギーに依存するU核破砕反応による中性子発生数を図-11⁴⁾に示す。

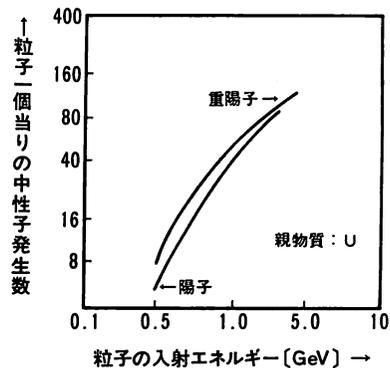


図-11 陽子、重陽子粒子のU核破砕反応による中性子発生数

5.2 加速器増殖とパルスパワー

加速器の核破砕反応による増殖方式は陽子の加速器と熔融塩炉⁵⁾との組み合わせが本質的な役割を果たすことになる。すなわち、加速器は約10億電子ボルト(1 GeV)、光速の約90%に加速された陽子のパルスパワーを発生させ、熔融塩炉はThやUの重い原子核が破砕される際の激しい発熱を処理し、核燃料を増殖する。

(1) ABR用加速器の条件

ABR実用化の為の条件はいろいろとあるが、それ

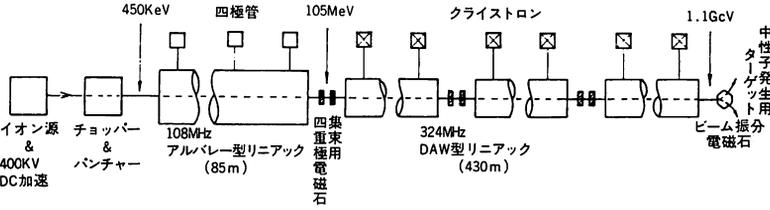


図-12 核破砕方式中性子源用加速器 (SNQ)

らの条件のうち、パルスパワーに関係する次の3点に絞って検討する。

- (イ) 陽子のエネルギー > 400 MeV
- (ロ) 陽子の単位時間当りの個数 $\geq 2 \times 10^{18} \text{ sec}^{-1}$
(直流電流に換算して約 0.3 A)

イ) 高出力化の実績

核破砕反応を利用した中性子源(SNQ)として開発計画された西独ユーリッヒ原子核研究所のSNQ用加速器の仕様⁶⁾は陽子エネルギー: 1.1GeV, ビーム平均電流: 5 mA, ビームのピーク電流: 100mA, パルス幅: 100 μ s, 繰り返し周期: 100Hzで、そのエネルギー変換の流れを図-12¹⁰⁾に示す。

このSNQ用加速器の仕様や、後出の図-13に示すような現在までに開発された加速器を見ても、(ロ), (イ)の条件に対して、ABR 実用化の為の加速器は現存していない。従って、現在まで開発された加速器は純粋に核破砕物理を研究するためのものであり、直接 ABR に結びつくものではない。

ここで(ロ)の条件をもとに年間当りの ABR から得られる核分裂性物質 Pu-239 の核燃料増殖生産量を概算してみよう。

経済効率から 1 GeV の陽子を U の核燃料親物質に当てると、図-11より陽子 1 個当り 40~50 個の中性子を発生し、同時に 7GeV 以上の発熱をとまう。そこで陽子の単位時間当り 2×10^{18} 個、直流電流に換算して 0.3A 程度の陽子ビーム電流を U の親物質に当てると、毎秒 10^{20} 個の中性子を発生し、同時に 2.100MW 以上の熱を発生することになる。U-238 から Pu-239 への変換効率を 0.6 とすると、毎年 1 トン程度の Pu-239 を生産する計算になる。又、この時に発生する親物質からの発熱を発電にまわすと、この電力で線形加速器の運転電力を自給できる計算になる。

5.3 加速器開発の現状と RFQ 加速器

加速器に関しては、3章「原子核と素粒子物理の研究」の項で触れたように、最先端の加速器は素粒子や原子核などのマイクロの世界の物理を追求する目的で

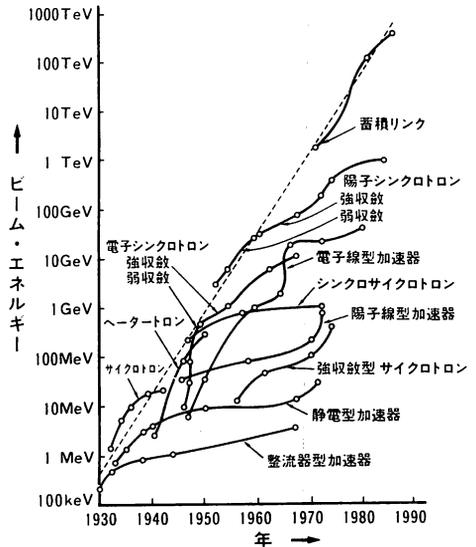


図-13 加速器並びに蓄積リングによるビームエネルギーの年代による到達度

られてきており、従来、よりマイクロの世界が覗けるように加速エネルギーを増大させることが決定的に重要であった。それ故に最先端を目指す競争は常に最高加速エネルギーへの挑戦であったといえる。図-13に年代による到達加速エネルギーの伸び方を示す⁷⁾。

このように開発された加速器は ABR 用の加速器として、粒子 1 個当りのエネルギーとしては十分に到達しているし、その技術も十分に開発されている。しかし、問題点は粒子数にある。図-5に見るように「原子核や素粒子物理の研究」に用いてきたパルス当りの粒子数は $\sim 5 \times 10^{-2} \mu\text{C}$ 程度で、パルス当りの全エネルギーは数 kJ にすぎなかった。そこで、この粒子数を解決するために登場してきた加速器が RFQ である。

(1) RFQ 加速器

RFQ (Radio Frequency Quadrupole の略) 加速器の原理は 1970 年ソ連の Kapchinskii 等によって提唱されたが約 10 年近くの間実用化されることがなかった。ところが、この RFQ 加速器は 1978 年に "White horse" というコード名で米国のロスアラモス科学

研究所(以下LASLと略記)で取り上げられ、理論計算を経て、試作加速管が製作され、2年後の1980年の2月に国防総省の立合いのもとに計算通りの結果の成功が確認された。それ以来、一躍世界の検舞台に上がり、注目を浴びるに至った。

このRFQ加速器は核融合エネルギー、核反応シミュレーター並びに粒子ビーム兵器への幅広い応用が考えられるが、核融合炉材料の開発に必要な強力中性子源用⁸⁾としての開発が最初の実証応用になっている。そこで、次に、このRFQの原理にふれる。

(2) RFQ方式ビーム焦点化法の原理

現在研究用に利用されている線形加速器の大部分はビーム焦点化に磁界型四重極レンズ(図-14)を用いた

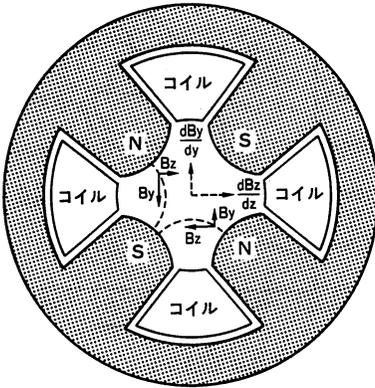


図-14 磁界型四重極レンズ

磁気焦点化法によっている。この焦点化法は粒子の速度依存性があるため、進行するビーム中の粒子が速いとそれらを集束するのにより強磁場が要求される。しかし、実際問題として限られた空間内にそのような強磁界を作ることは不可能とされているし、又初期速度の低い粒子を線形加速器で磁気集束させるには線形加速器で磁気集束可能である速度にまで高めなければならない。従って、これ等の要求を満たすには非常に大きな、複雑な、そして高価な電源を供給しなければならないことになる。この点、RFQ加速器における焦点化法は粒子速度に無関係に電界だけを用いた電界焦点化法⁹⁾によってビームを集束できる点が特長である。

(1) 電界形成のため直流電圧だけを印加する場合

図-15に示すような理想双曲線柱電極に交互に符号の異なる±Uの電圧を印加すると、電界強度は、フィールドの中心からの距離に比例するので、電極に印加する電圧の全てが軸に垂直な電界を生じるのに使われ、

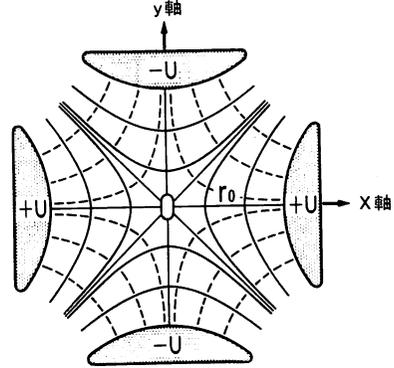


図-15 理想双曲線柱電極による等ポテンシャル線と電気力線

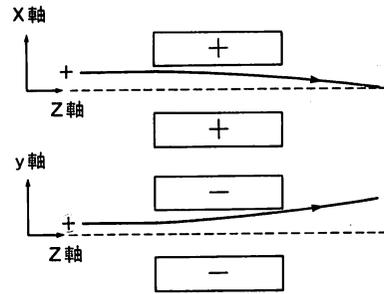


図-16 四重極電極のレンズ作用

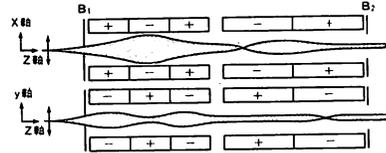


図-17 強収斂レンズ

低電圧で非常に強力な収束ができる。

図-15のフィールド中を荷電粒子が通過すると図-16に示すようにxz面では収束レンズ(凸レンズ)として、yz面では発散レンズ(凹レンズ)として働く。従って実際に強収斂レンズとして用いる場合には図-17に見るように極性の異なる二つ以上のユニットの組み合わせを必要とする。

強収斂レンズでは、電極電圧が有効に荷電粒子のビーム収束に使われる利点をもつが、ビームの収束点が二平面で一致しない。

(2) 電界形成用印加電圧として直流電圧に交流電圧を重畳した場合

図-18に示す理想双曲線柱に交互に符号の異なる直流電圧に交流電圧を重畳した $U-V\cos\omega t$ の電圧を印加すると、図-18のフィールドに入射した荷電粒子の運動方程式は $a(\propto U)$ 、 $q(\propto V)$ の変数変換を行うこと

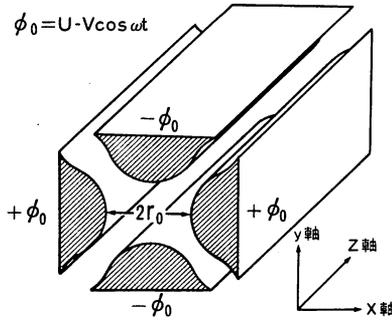


図-18 双曲線電極と座標系

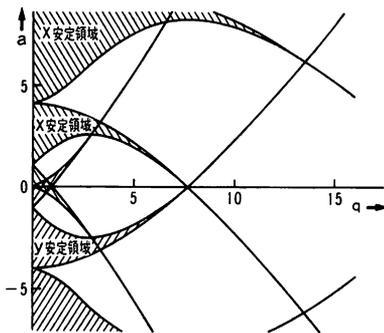


図-19 Mathieu 方程式の安定領域

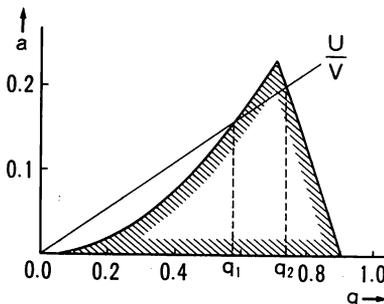


図-20 質量分析計の Mass Scan Line と安定領域

により Mathieu の微分方程式の標準形が得られ、この方程式の解から図-19に示すように粒子閉じ込めのための安定領域 (a, q) が描ける。

この原理を利用した四重極質量分析計は図-20で特に原点を中心とする安定領域の頂上付近を利用するものである。図-20に示す原点を通る直線 Mass Scan Line $a/q = 2U/V$ は質量に無関係であるので、質量の異なるイオンの動作点は全てこの直線上に並ぶ。この直線の傾斜は直流電圧 U と交流電圧 V の振幅値の比だけで決まる。ここで U/V の比を大きくしていくと安定解の存在する q の範囲が狭くなり、三角形の頂点付近では特定の質量のイオンだけが通り抜ける。従って U/V を一定に保って V を変化させれば任意の質量

のイオンの動作点を安定領域内にもってこることができることになる。

(3) LASL の RFQ 加速器

LASL の RFQ は前述の (2) の原理にもとづいた翼 (Vane) と呼ばれる 4 枚の電極板によって構成され、これらの電極板に 4 重極電界が作られ、この電界は高周波で変調される。従って、通過する荷電粒子は通常の静電 4 重極の組合せの電極間を通過する場合と同じようにビーム軸中心に集束される。この RFQ は翼の縁を粒子の進行方向にそって周期的にうねりをつけることにより、粒子が進行方向に力を受ける。そして、更に電極のうねりの周期は粒子が進行した距離に依存して大きくしてあるので、 $\beta \lambda$ (β : 加速粒子の速度を光速で割った値, λ : 波長) を大きくすることによって、ビームのゆるやかなバンチング (位相集束化) や加速ができる構造に作られている。

このように設計された RFQ は 93cm の長さで、200 MHz で運転し、陽子を 25keV で直流入射すると 750kV, 60mA の出力がビーム通過率 90% 以上で得られている。このビーム通過率 90% 以上ということはイオン源から比較的低い電圧で入射したイオンビームが非常に強い電氣的集束作用で位相集束を受けて 90% 以上のビームが集群して加速されたことを意味する。従来の位相集束装置 (バンチャー) では 60~70% 程度であり、バンチャーがなければ 30% 程度の値であることに對比して高く評価される。

従って、この RFQ は性能的に従来の陽子線形加速器の入射系に使用されているコッククロフト型静電加速器と置き換えることができる。そして、更に現在は発展段階にあるが、性能及び、製作費から見て、将来は陽子や重イオン線形加速器の入射系のすべてが RFQ に置き換えられるものと思われる。

(4) 線形加速器方式の問題点

LASL の RFQ 開発の成功により、わが国においても加速器増殖炉用の RFQ を用いた大出力線形加速器の設計検討が進められている¹⁰⁾。

この線形加速器方式による大電流ビームの加速で問題になるのは加速器中の空間電荷とイオンビームの落ちこぼれ (ビームスプル) 等である。ビーム電流 0.3 A では空間電荷の問題はないようであるが、ビームスピルの問題はこれが非常に僅かであっても長い線形加速器の加速管を放射化してやっかいな問題になる。従ってこの対策として低放射化材料の選択、フォーロスクレイパの使用、ビーム半径と周波数の調整等によ

て極力小さくすることが考えられるが、これらの方法では限界がある。線形加速器はこの点他の加速器に対比して比較的少ないといわれているが長い加速管を採用する際に常につきまとう大きな問題点である。

それ故に、これらの点を克服するために新しい型の加速器の開発が進められている。

5.4 改良形加速器

線形加速器以外の ABR 用加速器として、最近慣性核融合研究等に関連してローレンスパークレー国立研究所をはじめに各所で研究が進められている大電流加速が可能な誘導線形加速器や、従来高エネルギー加速用としてフェルミ国立研究所等で研究されてきた Collective 加速器の Auto Resonance 加速器^{11,12)}や、出力エネルギーが単一エネルギーではないが1メートル当たり10GV程度の加速が可能であると考えられているプラズマ・フォーカス方式加速器^{13,14)}が等々考えられており目下検討中である。しかし、これらの改良形加速器の開発のほとんどがProof of Principleの現況であり、実用化は今後の研究の発展に期待される。

本稿では従来の加速原理と大きく異なる改良形加速器の一例として特に注目に値するプラズマ・フォーカス方式の加速器を次に紹介する。

この加速器は1983年6月開催された“Advanced Uses of Accelerators on Nuclear Fuel Cycles”という国際会議(スポンサー、EC)¹⁵⁾においてもとりあげられ、注目をあびてきている。

(1) プラズマ・フォーカス

プラズマ・フォーカスはプラズマ自身が本来持合せているソーセージ形不安定性に起因した現象から発生する。その発生法と特長はコンデンサバンクと同軸状放電電極とを組み合わせた比較的簡単な装置で、容易にプラズマ・フォーカスを発生でき、そこに高温、高密度のプラズマを生み出すことができる点である。この時のバンクエネルギーからプラズマエネルギーへのエネルギー変換効率はほぼ20%程度である。

このプラズマ・フォーカス装置で中性子発生に最適なガス圧より低い適当なガス圧で放電をすると、プラズマ・フォーカスから高エネルギーの重陽子ビームが効率よく発生することが発見されている。表3に世界各国のフォーカス装置から得られた重陽子ビームのエネルギーを示す。発生したイオンビームの特性はバンクエネルギーの $\leq 15\%$ 程度がイオンビームとして変換され、発生した粒子のエネルギーは電源印加電圧の約200倍に達している。従って、加速効率がある程度大きければ、この現象を応用して極めて小型な加速器を建造することが可能になる。この方法で、将来、トリチウムや大型の線形加速器を必要とせず中性子を生産できる可能性が大きいので、核燃料増殖の観点から非常に興味深くおおいに検討するに値する^{16,17)}

(2) 加速器としての原理

既存の加速器から得られる電場の大きさは、ほぼ 10^6 V/mであるが、プラズマ中でソーセージ形不安定性から発生する電場の大きさは、 10^{10} V/mにも達している。そこで、この事実をプラズマの巨視的不安定性による誘導性モードのメカニズムで説明する¹³⁾。

従来の高電圧発生方式としてはインダクタンス(L)中を流れる電流(I)の時間変化を利用してL(dI/dt)なる形で電圧を取り出すのが主流であったが、ここでは逆にI(dL/dt)として、電流一定のもとにLを変化させて

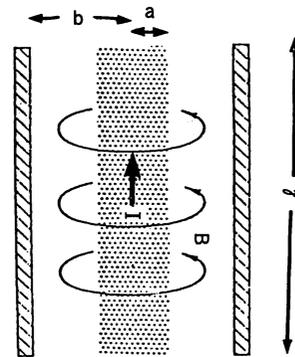


図-21 プラズマ・パラメータ

表3 各国研究所のプラズマ・フォーカス装置で発生した荷電粒子ビームのエネルギー

研究所(国名)	プラズマ・フォーカスのバンクエネルギー	電子ビームエネルギー	イオンビームエネルギー
Frascati (伊国)	1M J		0.3~5.1MeV
LLL (米国)	122k J		> 5 MeV
Limeil (仏国)	340k J	~300keV	300keV~1 MeV
Kurchatov (露国)	100k J		1~5 MeV
Stevens (米国)	12k J	>300keV	

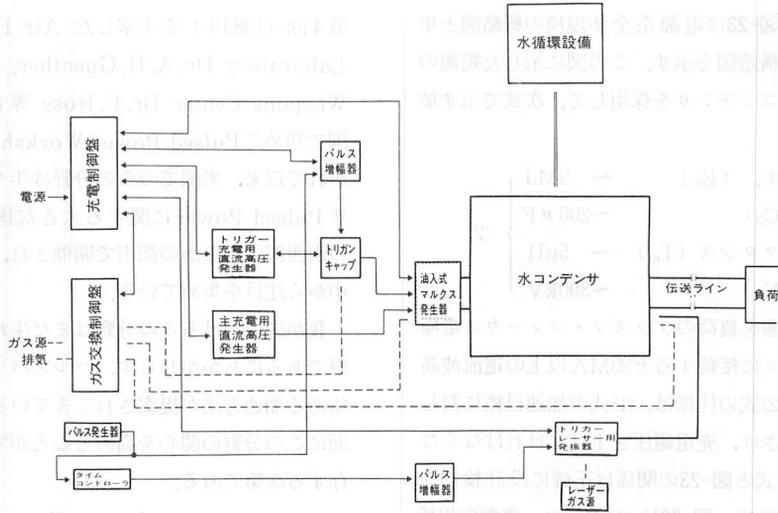


図-22 中間水コンデンサバンク方式電源系のブロック図

高電圧を得ようというものである。このようなモデルで図-21に示すようなプラズマ・パラメータを用い V (発生電圧) $\approx 10^9$ Volt を目標として各パラメータ(1)式に設定するとすれば l (プラズマ柱の長さ) $\approx 10^{-1}$ でよいことが導かれ、次の関係式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} n \text{ (プラズマ密度)} &\approx 2 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}, \\ a \text{ (プラズマの半径)} &\approx 10^{-3} \text{ m}, \\ I \text{ (プラズマ電流)} &\approx 10^7 \text{ A}, \end{aligned} \right\} (1)$$

$$V \approx 10^{10} \ell$$

しかし、この方式が加速器として成り立つためには、プラズマに注入されるエネルギーが有効にビーム加速に寄与しなければならない。従って、ビームの発生効率を検討すれば、ビームの発生率は発生するビーム電流を計算することによってわかる。計算は磁気遮蔽された二極管方式のイオンビーム発生法の手法を用いると、

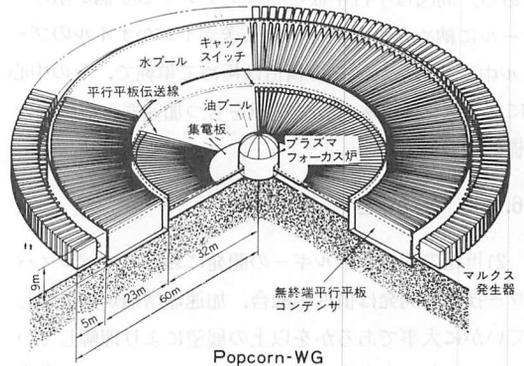
$$\text{ビーム電流; } I_b \propto (\text{プラズマ電流: } I)^3$$

となり、プラズマ電流を大きくすれば、発生するビーム電流は急激に大きくなることが期待される。また、

$$\text{ビーム電力; } P_b \approx I_b V \propto I^5$$

$$\text{ビームエネルギー; } E_b \approx P_b \Delta t \propto I^4$$

従って、プラズマ・フォーカスの加速器としての活用は大電流の装置であることが結論づけられる。それ故に電極の熱除去が大きな問題となるがこの点に対しても検討されている¹⁸⁾。更にこのプラズマ・フォーカス方式加速器から加速される陽子ビームのエネルギーは他の加速器で得られているように単一エネルギーではない。しかし、核破砕反応による中性子数は図-11に



Popcorn-WG

単体細部図

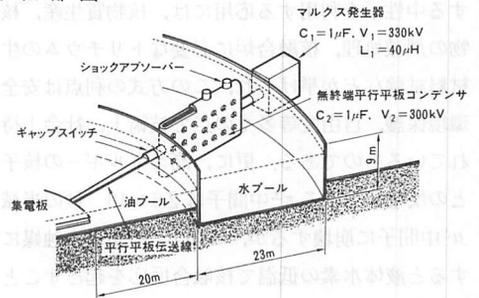


図-23 9 MJ 中間水コンデンサバンクの大きさ ($V_0=300$ kV, $C_0=200 \mu\text{F}$, $L_0 \sim 5$ nH) と単体モジュールの構造図

見るように入射陽子エネルギーが $0.5 \sim 3$ GeV の領域に対して直線的に増大する特性が得られているので問題が少ないと思われる。

(3) 加速器としての電源規模

次に(1)式の値を支えている具体的なパルス電源の一例を図-22, 図-23に示す¹⁹⁾。図-22は電源系の

ブロック図で、図-23は電源系全体規模の概略図と単体モジュールの構造図を示す。この図に示した電源の仕様は水の間コンデンサを採用して、次式で示す値である。

$$\left. \begin{array}{l} \text{入力エネルギー, } (E_0) \quad \sim 9\text{MJ} \\ \text{電源容量 } (C_0) \quad \sim 200\ \mu\text{F} \\ \text{電源インダクタンス } (L_0) \quad \sim 5\text{nH} \\ \text{充電電圧 } (V_0) \quad \sim 300\text{kV} \end{array} \right\} (2)$$

(2)式の仕様の電源を負荷のプラズマ・フォーカス電極のインダクタンスに接続すると20MA以上の電流波高値を得るので、(2)式の仕様は、(1)式の加速目標に対して、電流容量をさげ、充電電圧を上げなければならない。しかし、(2)式と図-23の関係は正確に設計検討をされた値であるので、図-23はパルスパワー電源の規模を示すめやすとして、(1)式の加速目標を支えるものである。同図は平行平板中間コンデンサ 200 個が水のプールに納められ、平行平板伝送ラインがオイルのプール中に沈められ、その構造は極めて単純で、その中心にプラズマ・フォーカス電極をもつ加速器と溶融塩の標的が設置される

6. あとがき

21世紀の代替エネルギーの開発において、パルスパワー技術の開発は慣性核融合、加速器増殖炉等に関していかに大事であるかを以上の展望により理解していただけたものと考え。そして、パルスパワーによって発生する中性子を利用する応用には、核物質生産、核廃棄物の消滅処理、核融合炉に必要なトリチウムの生産、材料試験などが挙げられ、この方式の利点は安全性、環境保護、自由度等多くの点で技術上、社会上待望されているものである。更に、高エネルギーの核子と核との反応から出る π^\pm 中間子は 2.6×10^{-8} 秒の半減期で μ^\pm 中間子に崩壊するが、この μ^\pm 中間子を触媒に採用すると液体水素の低温で核融合反応を起こすこともできる。

このように最近のパルスパワー技術の展開と将来の可能性について、この技術の開発と応用が、いかに関連分野の学問に飛躍的発展と技術革新をもたらすか、将来も大いに期待されるものである。

(追記) パルスパワーをめぐる最近の動向

米国におけるこの分野の主な研究機関は第1回(1976年)、第2回(1979年)のIEEE International Pulsed Power Conferenceを主宰したテキサス工科大学Prof. M. Kristiansen (P. W. Horn)、第3回(1981年)、

第4回(1983年)を主宰した Air Force Weapons Laboratory Dr. A. H. Guenther, Naval Surface Weapons Center Dr. F. Rose 等である。1975年米国で初めてPulsed Power WorkshopをLASLで開かれて以来、米国でのこの分野は年々盛大になり、毎年Pulsed Powerに関する大きな国際会議が米国内の南西部のどこかの都市で開催され、その内容は世界中から注目を集めている。

我が国におけるこの分野はまだ生まれたばかりの新分野であるにもかかわらず、パルスパワーを応用した興味ある加速方法が提案されてきているので、関連各方面にこの分野の関心を高めることができれば誠に幸に存ずる次第である。

文 献

- 1) ~ 3) は第 I 部 (前号所載) 参照
- 4) H. W. Patterson et. al.; "Accelerator Health physics" Academic press, (1973)
- 5) 古川, 他; "溶融塩増殖炉" 原子力学会溶融塩増殖炉研究専門委編 (1981)
- 6) J. E. Vettes; "A high intensity proton linear accelerator for the German spallation neutron source (SNQ)", IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-28 (1981) 3455
- 7) W. K. H. Panofsky; "巨大加速器による素粒子の探求 (1)", 自然37, 5号 (1982) 58
- 8) E. L. Kemp; LA-UR-79-3193, 8th Symposium on Engineering problems of Fusion Research, San Francisco, CA November 13-16 (1979)
- 9) 上野; "米国における加速器方式核融合計画と現状について" 核融合研究, Vol. 46-7, No. 9 (1981) 33
- 10) 塚田; "大出力線形加速器" 日本原子力学会誌 Vol. 24 No. 2 (1982) 102
- 11) M. Sloan, et. al.; "Auto resonance accelerator concept", Phys. Rev. Lett., 31, 20 (1973)
- 12) W. Drummond; "Use of the auto-resonance accelerator for accelerator production of fissile material" I-Austine Research Assoc. I-ARA-80-U-53, (1980)
- 13) K. Ikuta; "Plasma Focus Breeder" Jpn. J. Appl. phys. 21. 1. (1982) 125
- 14) M. Tanimoto, et. al.; "Resistive Ion-Acceleration in a Plasma Focus" 21. 8. (1982) L 491
- 15) 古川; "第3回創発的核エネルギーシステム国際会議", 日本原子力学会誌 Vol. 25, No. 9 (1983) 725
- 16) I. Ueno, et. al.; Neutron Yield in a Repetitive Dense Plasma Focus, 21, 12 (1982) L 746
- 17) 谷本, 他; "プラズマ・フォーカスからの高速荷電粒子発生モデル" 核融合研究 Vol. 50-2 (1983) 122
- 18) K. Ikuta, et. al.; "Sheath potential Generated by a Relativistic Electron Beam" Jpn. J. Appl. Phys. 22, 4 (1983) 709
- 19) 小畑, 他; "高電圧プラズマ・フォーカス用水コンデンサ方式長寿命パルスパワー電源の検討" 電気学会論文誌 103 B-12 (1983) 821