

核物理の加速器

池藤道也

大阪大学核物理研究センター

日本における加速器は1930年代の半ばから40年にかけて世界の最先端から何人の数年のおくれでコッククロフト、サイクロトロン、バンデグラフ、リニアック等が製作され主として原子核の研究に用いられてきた。戦後は1950年代の半ばからバンデグラフ、サイクロトロン、ベータトロン、FMサイクロトロン等が建設されてきた。

しかし最近ではいわゆる低いエネルギーでの核物理の研究にはタンデム型静電加速器とAVFサイクロトロンの2つの型の加速器が互にその長所短所をおぎなう形で用いられる状況になっている。日本における核物理の加速器の現状と計画について知りえた範囲で概略を示すと

I. バンデグラフ型加速器

バンデグラフは初期には研究者により設計組立てが行われていたがその後日本のメーカーによる製作がなされ更に現在では米国のメーカーのものを購入するようになってきている。唯一の例外は九大磁気等によるペレットチエインを用いた加速器で多くの創意による成果をもとにして設計されている。

1. 現在使用中の一般型バンデグラフは次の通りである。

| 設置機関 | 性能 | メーカー・型式 | 備考 |
|------|-------------------------------------|-------------|---|
| 東北大理 | 4MV | 日立製作所 | |
| 原研 | 5.5MV | HVEC | 日本最初のHVECマシン |
| 東工大 | 4MV, 400 μ A | HVEC KN7000 | 縦型 |
| 阪大理 | 同上 | 同上 | 改造準備中(475MV, 150 μ Aに向上) 400KV前段加速装置附設 |
| 九大理 | 6~7MV, 数 μ A 電圧安定度 10^{-5} | 九大による設計 | 縦型、ペレットチエイン使用。 絶縁ガス100% SF ₆ |

2. タンデム型加速器

現在使用中のマシンは1960年代の初めから半ば頃にかけて東大、京大に相ついで設置された。これらの加速器は研究者の協力のもとに日本の重電機メーカーによって製作されたものであるがその後各メーカーによる開発の意図はなく技術的な発展は中断されている。

| 設置機関 | 性能 | メーカー・型式 | 備考 |
|------|--|---------|-----------------------|
| 東大理 | 1~5MV 陽子 9.4 MeV, 酸素イオン 25 MeV (51Me) エネルギー安定度 10^{-3} ビーム電流, 陽子 2 μ A (2x2mm) 酸素イオン 200neA | 東芝電気 | 縦型 直接引込型デュオプラズマトロン |

| 設置機関 | 性能 | メーカー型式 | 備考 |
|------|--|--------|---|
| 京大理 | 1.5 ~ 5.5 MV, 電圧安定度 1KV 陽子 3 ~ 11 MeV ビーム電流 陽子 0.1 μ A (全断) 酸素イオン 50 nA (6F画) | 三菱原子力 | 横型. RFイオン源とH ₂ ガスによる電子 附加. 偏極陽子, 重陽子イオン源建設中 |

現在建設又は計画中のタンデム型加速器は九大を除いてメーカーの規格品を購入する計画のようである。

| 設置機関 | 性能 | メーカー型式 | 備考 |
|------|---|--|--|
| 九大理 | 10 MV 陽子 25 MeV 炭素, 酸素イオン 60 ~ 70 MeV 更に重イオン ~ 100 MeV | 九大による設計 | 横型, ペレットチェーン使用, (1)の6 MV 静電加速器と共に三段 型にして使用. 建設中. |
| 筑波大 | 12 MV, 陽子 7.5 ~ 24 MeV 電圧安定度 ± 2 kV 陽子電流 20 μ A (7 ~ 24 MeV) 酸素イオン 1 μ A (96 MeV) | National Electrostatic Corp. (NEC) 12 UD ペルトオン | 縦型, ペレットチェーン使用. マツキベン型直接引出イオン源. スパッタリングイオン源, 偏極イオン源 75年度内に入荷予定. |
| 核研 | 20 MV, 安定度 ± 2 (z+) keV ビーム電流 p 3 ~ 5 μ A Cl 0.2 ~ 0.5 p μ A I 0.2 ~ 0.5 p μ A | | パルス化ビーム可能 4種のイオン源着替切換使用. 計画中. |

II. サイクロトロン型加速器

1. 普通型サイクロトロン, FMサイクロトロン

サイクロトロンは戦後1950年代の半ば頃から阪大, 京大, 核研等で相ついで建設された。特に核研のサイクロトロンは世界初めての広範囲のエネルギー可変サイクロトロンとして有名であり, 核物理の共同利用施設として多くの成果をあげた。阪大京大のサイクロトロンはその後幾多の改良がなされ現在は共にエネルギー可変サイクロトロンとして核物理研究に用いられている。理研サイクロトロンは核研の改良型であり特に重イオン加速では日本で最先端を行くものである。FMサイクロトロンは核研サイクロトロンのFFとFMの共用マシントとして使用されていたが最近ではこのサイクロトロンはFM専用で用いられている。

| 設置機関 | 性能 | メーカー型式 | 備考 |
|------|---|---------|--|
| 阪大理 | 磁極径 110 cm 陽子 2.2 ~ 10 MeV ³ He 7.0 ~ 26 MeV ⁴ He 9.0 ~ 26 MeV | 阪大による設計 | 戦後初のサイクロトロン 台風被害後中心部より聖中へ移転 レ同時の改造, 単一デー 可変エネルギーに改良 |

| 設置機関 | 性能 | メーカー型式 | 備考 |
|------|--|---------|--|
| 京大化研 | 磁極径 105 cm 陽子 6~7.5 MeV ³ He 30~40 MeV ⁴ He 24~30 MeV, ⁶ Li 44 MeV | 京大による設計 | 可変エネルギーに改造、単一電子衝突によるLiイオン源設置。 |
| 理研 | 磁極径 160 cm 陽子 4~17.5 MeV 引去ビーム 50 μA ³ He 12~45 MeV 30 μA ⁴ He 16~55 MeV 30 μA C ⁶⁺ 50~95 (3 μA), O ⁸⁺ 60~120 (0.5 μA) | 東芝電気 | 重イオン加速で最先端、重イオン軽イオンは1時間運転マシンタイム30%近くは核物理以外に使用。 |
| 核研 | 磁極径 160 cm 陽子 50数 MeV | 東芝電気 | 現在はFM専用マシンとして使用 |

2. AVFサイクロトロン

AVFサイクロトロンはFM領域にデュ-テイサイクル100%で加速するものとして世界各地では早くから設置されてきた。日本ではかなり早くして1970年の初めから核研、核物理研究センターで建設された現在両者ともビームテストや実験装置の整備を行っている。その後東北大理に於ても建設が始まっている。その他東大医科研、放産研でも医用用途を主としたAVFサイクロトロンが完成している。

| 設置機関 | 性能 | メーカー型式 | 備考 |
|-----------|---|-------------------|---|
| 核研 | 引去半径 74 cm, 最大磁場16kG 陽子エネルギー ≤48 MeV, K数* 68 MeV RF 自己発振型 | 核研設計、三菱電気 | ビームライン 11 ビーム分解能3種類のライン、 ^{0%} 5x10 ³ 1x10 ³ , 1x10 ⁴ ; 粒子アライナー QDD, |
| 核物理研究センター | 引去半径 100 cm 最大磁場16kG 陽子エネルギー ≤75 MeV, K数* 120 MeV RF 主発振器増巾器型 | 核物理研究設計、主発振器 佐賀重機 | ビームライン 11 ビームアライナー分解能、 ^{0%} 6.3x10 ³ 粒子アライナー QDDQ 1x10 ⁴ |
| 東北大理 | 引去半径 68 cm 最大磁場15kG 陽子エネルギー ≤40 MeV, K数 50 MeV RF 主発振器増巾器型 | 佐賀重機 (CQR) | ビームライン 8 多目的マシン |

* K数 磁石おきの粒子エネルギー E(MeV) = $K \frac{Z^2}{A}$

III. その他

核物理の研究に高いエネルギーの粒子を用いること、重イオン(特に高いエネルギー)を用いることが強く要求されるようになってきた。その線に沿って理研では重イオンライナックの建設がはじまり、リングサイクロトロンの研究も始められている。又高エネルギーの重イオンマシンのニュートロンも計画されている。これらはこの研究会で発表されるようである。