

加速器の工業への利用

高エネルギー物理学研究所

増田正美

加速器が工業界に利用され始めたのは何年位前なのか。又それを言ふには、加速器そのものが何年位に発明されたのか。この様な事について調べて見ると、先づ加速器として厂的に古いものに、Cockcroft, Van de Graaff, Cyclotron, Betatron, Linac 等があります。その実現はそれぞれ、1930, 1929, 1931, 1940. Linacの原理は Wideröe が Betatron と同じく、1928年と古い。実用に分つたのは、第二次世界大戦後のマイクロ波技術が確立されてからであり、おそろおそろと進んでいる。その間に現在高エネルギー研究で製作されている Synchrotron が先づ電子を加速している。この様に、加速器の厂的に語つた場合、その時間のつきり所は不明、しかし工業界に利用されたために、ある特定の会社が生産してユーザーに提供して進んでいる事については、恐らく Betatron が最初(であった)と思はれる。

Betatron は G.E. Allis, Chalmers, Siemens, Brown Boveri 等の巨大企業が先づこれを企業化した。その時期は驚くべきことに、Kerst が Illinois 大学で 2.4 MeV Betatron と 1940年に完成し、又 1942年に 20 MeV Betatron を完成させた直後に、既に G.E. が 20 MeV Betatron を製作してあり、この様な生産加速器は、そのエネルギーが 15~30 MeV, X線出力が 100~500 R/min. at 1m のものでした。これはその利用目的が、厚い被曝体の非破壊検査と、深層部に発生した癌組織の破壊であり、前者にあつては、丁度朝鮮戦争の時期と一致したため、戦車の砲塔廻りのラジエーターのたため、米国の砲兵工廠に多数の Betatron が納入されております。癌の治療については、更に多く語らばきまのがあります。いつかしても此の様に本格的に加速器を生産して利用者に提供するという事は、1945年位から始つており、現在では多種類の加速器がこの様な工業への利用目的に生産されております。この様な加速器には Cockcroft を代表とする静電型加速器, Betatron, Linac 又最近では Cyclotron もあります。これはさう問題とすべきは、やはり大電力の加速器、高電圧(出力エネルギー)X(出力電流)としてのビーム電力の大きい加速器です。この様な加速器として、この様なタイプの加速器が将来有望であり定着する場合は、ここ数年後の課題であります。

ここに加速器の工業への利用分野を一覧を示します。

目的	非破壊検査	照射	分析	RI製造	公害	イオン注入
エネルギー	10~30 MeV	0.3~3 MeV	~30 MeV, ~20 MeV	15~25 MeV	7 MeV	0.02~0.2 MeV
加速粒子	e	e	e, p	p, d	e	金属イオン
出力	100~1,000 R/min	10~20 mA	—	10~50 μA	700 mA	~100 μA
備考	原子力工業 高圧圧力容器 超大橋	高分子改作 放射重合 放射線加工 殺菌, 公害	C, N, O の定量分析	短寿命 RI の製造	汚水処理 排煙脱硫	半導体, IC

[非破壊検査]

加速器の工業界への利用としては、最も厂的に古く、又現在益々利用されている分野です。約15年位以前には、非破壊検査は自社製品の品質管理に実施されて来たが、現在は事情が異なり、製品受

注条件の1つに放射線検査と云ふ条件を満足せしめようとする。このために製品受注にエムメカーは製品価格の数%を検査費用に(と見替)ります。そして積極的にアーネストン、ラスナック等の設備購入を実施するわけである。我が国に於ても既に数十台が稼働しており、我が国の経済海外進出の一助をなしてあります。

現在エネルギー10~30 MeV, X線出力は大きいことばかりではありません、一般にX線出力を大きくすると、X線源の大きさが大きくなります。撮影におよぶ鮮明度をおとす事となります。将来X線源は、1mm以下とし、出力を~10,000 R/min. at 1m と可能とする加速器が望まれます。

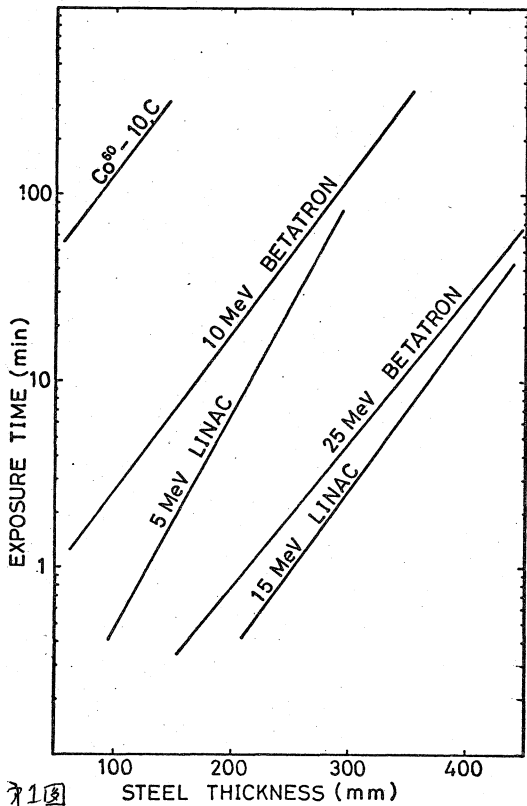


図1

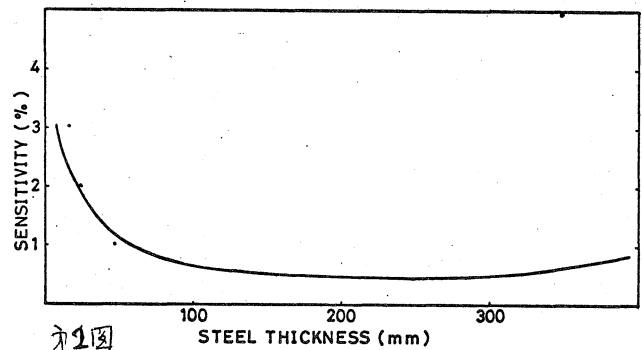


図2

左図に代表的な加速器の露光時間と示し、又上図にこの加速器による欠陥検出度を示した。

又この分野の将来利用はX線テレビを用いて直接テレビスクリーン上に製品の欠陥を見出す事である。現在実験段階では、300mm迄検査可能である。この利用目的は鉄鋼界におよぶ bloomの切断端未処理である。一般にインゴットは圧延器上で Bloom 又は slabの状態で圧延される。この状態で厚さ250~300mm位である。この厚さインゴットは溶解冷却過程上で、セグメントコンヒンヒより中心部に集積した不純物は切断しきれない。この切断ミスによる損失は、年間数千万円に達する。

[Flash Radiography]

動的な被写体を撮影し得る事は、極めて広い応用分野をもつており、現在これを利用し得る生産加速器はありません。しかし100~200mm肉厚の被写体と one-shot のX線撮影する事は、既に米国に於てマンハッタン計画の中に入っており、phermex と云ふ加速器を完成させております。27 MeV, 30A, パルス幅 0.2 μs, 30R at 1m, 3mm focus の加速器です。周産フィルムで flash radiography の露光条件を試算してみると、図の様に分ります。これをみると100mm厚の動的被写体に対して10 MeV, 100A の加速器を求めたい。phermex に、続いてプロダクト社で用いられた Astion は、直線的に加速されたのは phermex と同じですが、RFの代わりに Betatron の如く induction を用いています。5 MeV, 200A, ~~0.25~~ 0.15 μs, 60pps です。この分野の将来は大きいものがあります。問題は加速器の開発です。

[照射]

この分野の主たるものは放射線化学に属するもので、先の加速器の利用分野と大別すると、

1. 放射線による高分子の改質, 合成。
2. 放射線グラフト共重合。
3. 食品照射殺菌, 放射線キエアリング。

この順序は又放射線利用の工業的順序でもあります。先づ1については、非常に身近な例として哺乳ビンがあります。これは110°Cで殺菌処理をすると溶解する。この殺菌、出来なかったものが、放射線架橋により耐熱性が増加するものであります。同様の効果はポリエチレン被覆電線についてもあります。又熱収縮性テープ、発泡ポリエチレン等と多くあります。後者の一つは、吾々の国に於て南米産山羊毛であり、自動車のシートに用いられており、米国に技術輸出されております。

2のグラフト共重合は1つの高分子に他の異種の高分子をメッキするものであります。実用化されているものには、木綿に共重合させてしわのついたシャツ、又スポンジ等、更に蓄電池の積層板子とがあります。

3の放射線キエアリングについては、塗料やWood-plastic複合体子とが実用化されています。以上をまとめて表にしました。この表を見るに食品照射における殺菌防止を待って最高50 Mradの照射が必要である。この様な目的のための加速器としてどの様なものがあるかと云ふと、先づ最も普及しているものとしてCockcroftと、変圧器方式とがある。1 MeVを境として、低いエネルギー領域に於ては変圧器方式、又高いエネルギー領域に於てはCockcroftが採用されている。前者にあつては出力電子線は $\sim 200\text{mA}$ に達し、後者にあつても $\sim 20\text{mA}$ を得る。いつれにしても、その最高ビーム電力は10 \sim 100 kW位であります。

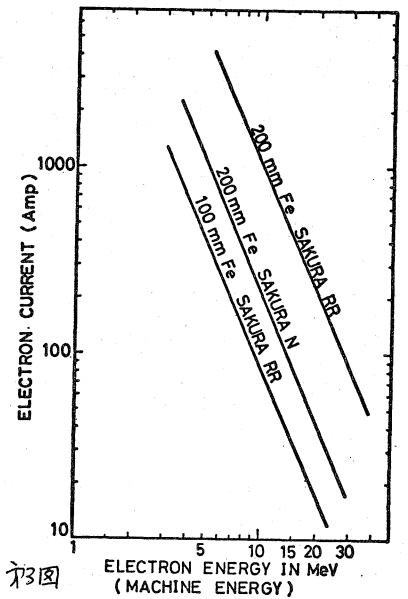


図3 Flash Radiographyの露出条件

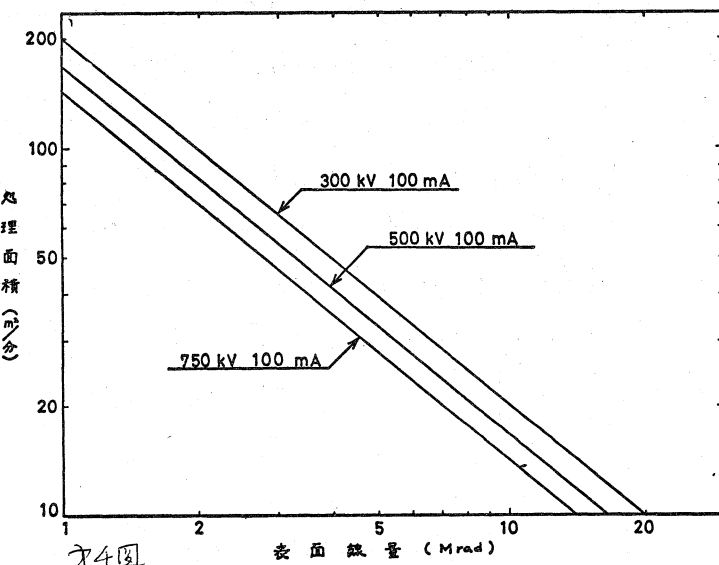


図4

放射線処理に必要な線量

プロセス	線量 (Mrad)	線量率 (rad/h)	線源
ポリエチレンの架橋	4 - 40	10 ⁶ - 10 ¹⁰	X, e
天然ゴムの変質	10 - 50	10 ⁵ - 10 ¹⁰	X, e
架橋における増感剤の添加	0.3 - 5	10 ⁵ - 10 ¹⁰	X, e
塗料のキエアリング	0.1 - 8	10 ⁵ - 10 ¹¹	e, X
ウッド・プラスチック複合材	0.5 - 5	10 ⁴ - 10 ⁶	X
放射線グラフト共重合	0.05 - 5	10 ⁴ - 10 ¹⁰	X, e
木綿-ポリエステル混紡布の殺菌	0.1 - 1	10 ⁷ - 10 ⁹	e
放射線重合	0.05 - 10	10 ⁴ - 10 ⁹	e, X
トリオキサン重合	0.05 - 2	10 ⁷ - 10 ⁹	e
アクリルアミド水溶液の重合	0.2 - 5	10 ⁴ - 10 ⁶	X
臭化エチルの合成	0.24	10 ⁵	X
炭化水素のスルホン化	0.20	10 ⁵	X
ジャガイモ・タマネギの発芽防止	0.005 - 0.015	10 ⁴ - 10 ⁶	X
医療用器具の殺菌	2 - 5	10 ⁵ - 10 ¹⁰	X, e

Figure 4 shows the processing capacity of the particle accelerator. Also, the kW and the cost are shown in Figure 5.

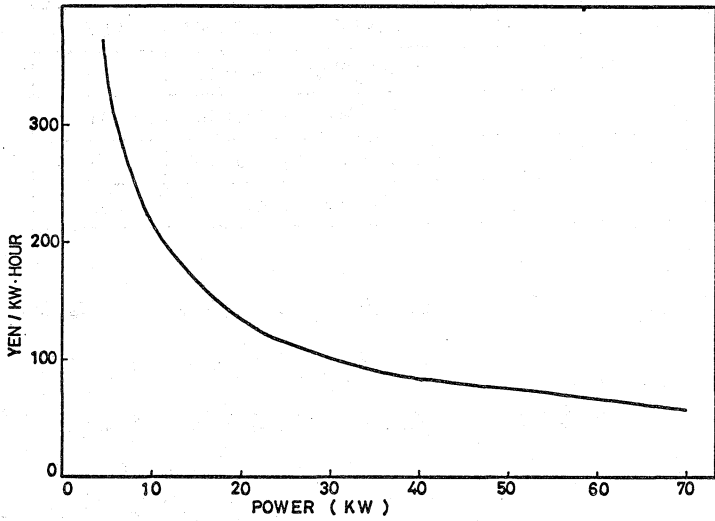


Figure 5

[Comments]

The irradiation of high polymers, etc., is successful because of the high efficiency of the irradiation process. The irradiation process is successful because of the high efficiency of the irradiation process. The irradiation process is successful because of the high efficiency of the irradiation process.

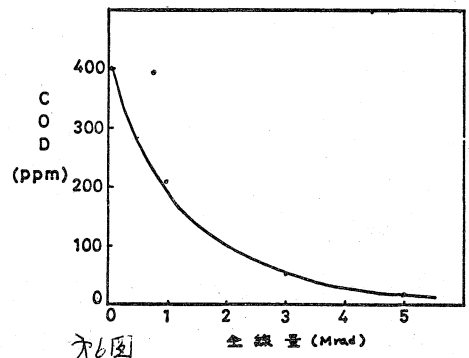


Figure 6

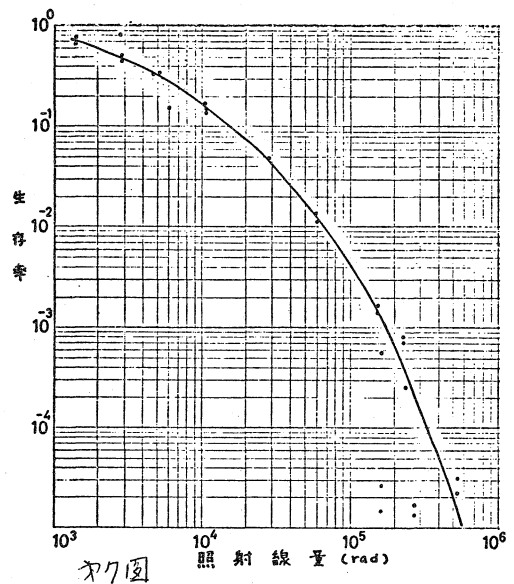


Figure 7

The irradiation process is successful because of the high efficiency of the irradiation process. The irradiation process is successful because of the high efficiency of the irradiation process.

$$\Delta \text{COD} = G \times 1.2 \times 10^5 \text{ Rad}$$

Generally, $G \sim 10$ and $1 \text{ Mrad} \sim \Delta \text{COD} = 70 \text{ ppm}$ and so on.

The irradiation process is successful because of the high efficiency of the irradiation process. The irradiation process is successful because of the high efficiency of the irradiation process.

The irradiation process is successful because of the high efficiency of the irradiation process. The irradiation process is successful because of the high efficiency of the irradiation process.

排煙についてのことは、 SO_2 が放射線による効果的に除去されて居る。実験として、5.5 MeV, 70 mA の Linac で実施し、3 Mrad の照射で ~ 90% の SO_2 が除去されて居る。但し経済性を考慮した場合此の種の加速器は実用性にとぼしい。

線源	吸収効率 (%)	線源の大きさ	年間線源コスト (\$)	水 1,000 ガロン当りのコスト (セント)
^{60}Co	75	40×10^4 Ci	38.0×10^5	104
^{137}Cs	75	180×10^4 Ci	26.0×10^5	71
原子炉	50	400 MW	9.0×10^5	30
加速器	80	600 kW	27.0×10^5	69
使用済燃料	50	1600 kW	56.8×10^5	158

[工業用加速器]

以上工業用加速器としてこの応用例の若干を示して居る、将来の利用に於いてどの線源又どの型式の加速器が望ましいか？ 又、非破壊検査としては、出来れば限り小さい線源、1 mm 以下、大出力、10,000 R/min at 1 m の加速器が望ましい。これは Betatron でも Linac でも実現して居る。どの線源としたらいいか？

又照射用加速器については、その実用化は極く限られた特殊例のみである。これはいいか？ 特に公害問題と絡む場合、どの線源加速器を開発してやらねばならぬのか、多分この電力で 1 MW 級のもっと必要では無いのか？ 此の線源問題と取り組む組織、研究機関は現在の所存在しない、実現が望まれる。