

電子リニアック用パルスクライストロンの高能率化

電総研 富増 多喜夫
 東芝 門野 欽一、小倉 浩一、山崎 豪雄、岡本 正、
 細井 真理、三宅 節雄、畠村 幸夫

I. はじめに

この開発研究が始められたのは 1973年の第1次オイルショック後のことである。当時は物価狂乱の時代で電気代もかなり値上りした。電総研は当時 33MeV 電子リニアックを使用していたし、1976年に筑波移転を決定し、大出力の 500MeV リニアックの建設を計画していたので、電子リニアック用パルスクライストロンの高能率化による省エネルギー対策は我々にとって維持費の低減のためにも不可欠であった。

東芝は当時すでに UHF 放送用としてクライストロンを 100 本近くつくり終えた頃で、電子リニアック用としては M4628 パルスクライストロンを作っていた。M4628 用のソケットは電総研に 2台、名工試に 1台あるきりで、年に 2~3 本の生産は工場のパルスクライストロン製造グループにとって少な過ぎた。

当初の筑波リニアックでは高能率 50%の 25MW クライストロンを 10本使用する予定であり、1974年に能率 35% 7MW の M4628 パルスクライストロンを改良して高能率化する研究を始めた。

2. パルスクライストロンの高能率化

M4628 は図1 に示すように 4空胴を等間隔に配列したクライストロンである。改良クライストロン (M4628A) はパービヤンス ($2.0 \times 10^{-6} \text{ AV}^{-3/2}$) も入力空胴と出力空胴の間隔も変えずに、共振空胴を一つ増やして 5空胴とし、空胴配列は当時東芝で製造していた高能率 (60%) CW クライストロンの空胴配列に似せたものである。改良は非常にうまくいって M4628A の出力は約 10MW、能率は 49%まで向上した。これによって田無リニアックの加速エネルギーは 33MeV から 40MeV に上った (1, 2)。

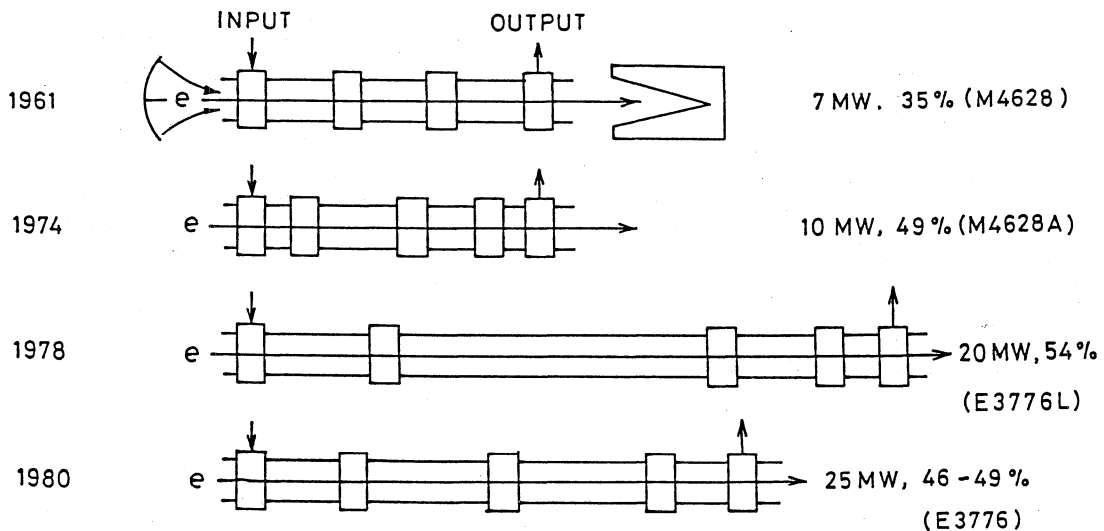


図1 電総研—東芝で開発したクライストロンの空胴配列

筑波リニアック用第1号としては 1978年に全長 173cm の 5空胴クライストロン E3776L を試作した。これは利得 56dB、能率 54%と優れたものであったが、長くて取扱にくいということで、本番用としては約 20cm 短い E3776 を現在までに 7年間で 33本量産した。そのうちの 1本、#2 は現在も使用しており、使用時間は 5700時間に達している。#8~#17と後になる程能率は悪くなり平均値は 45%以下となった。

能率を上げる試みの一つとしては、#18 からはクライストロンをセットした状態で第3、第4 空胴の離調特性が変えられるようにして出力を調整した。それぞれの空胴は tunable な構造で、ギア機構で遠隔操作できる 3)。図2 は E3776 クライストロンの離調特性を示す。

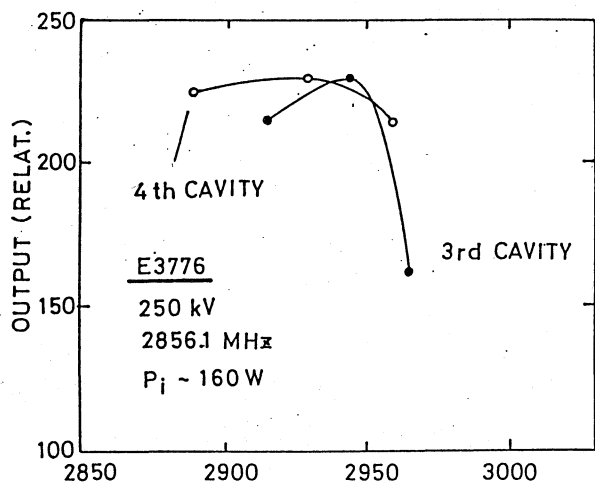


図2 クライストロンの離調特性

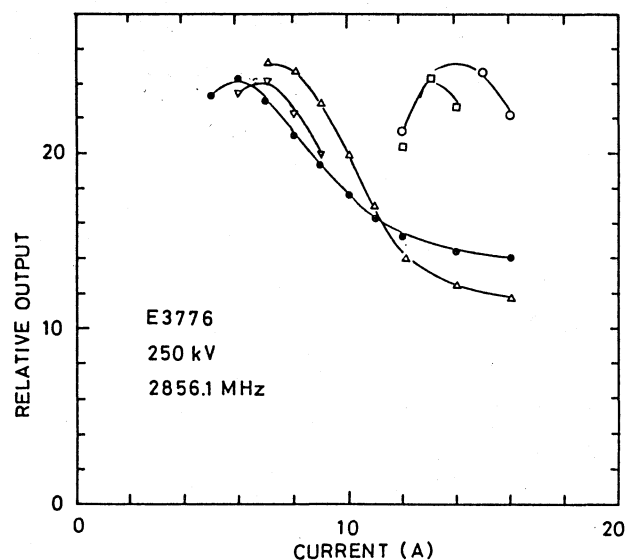


図3 出力の集束電流依存性

能率を上げるもう 1つの試みは、クライストロンの空胴配列を変える方法で、何本かごとに配列の間隔を変えたものを作って能率 49%のものができるようになった。

クライストロンのマイクロ波出力は集束コイルの電流値によっても大きく変化するし、マイクロ波波形も変化する。図3 は出力と集束コイル電流依存性を示す。クライストロンによって電流依存性に差があるのはクライストロンの空胴配列の差によるものと考えている E3776 の出力窓は 2つあるので、2つの出力波形を観測しながら離調や集束の程度を変えていくと、出力波形の変化からこれらが出力空胴を通る電子ビームの径や位置の変化に影響していることがわかる。

3. 電子リニアック用パルスクライストロンの能率と空胴間隔比との関係

東芝 嶋田の特許 4) に図4 に示すような空胴配列を有するクライストロンにおいて、比 l_3/l_1 が 3.2~5.0 の範囲内にあるように空胴共振器が配置されることを特徴とする直進形クライストロンというのがある。

彼は UHF 放送用 CW クライストロンを量産し、クライストロンを高効率で動作するように設計するためには多くのパラメータの最適化が必要であるが、そのうちで最も重要なパラメータの 1つが複数空胴共振器の間隔寸法の選び方であるという結論を出している。

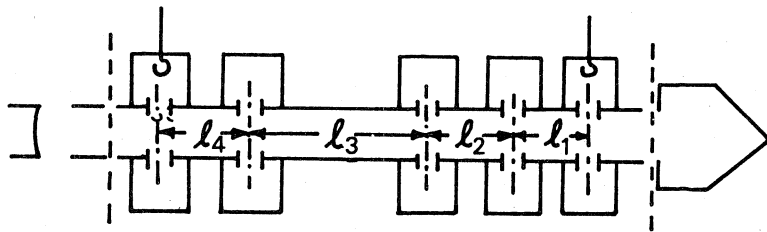


図4 クライストロンの空胴間隔

図5 のクライストロンは高エ研 PF の入射用リニアックと東北大核理研リニアックに使用されているもので、図1 のものも含めて、比 l_3/l_1 と能率との関係を図6 に示してみました。

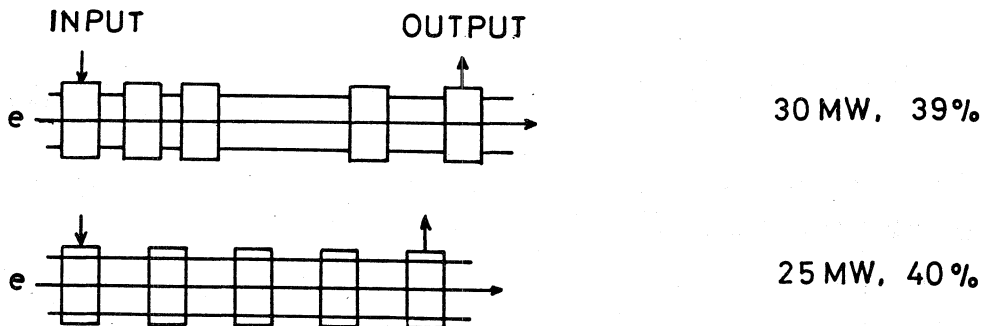


図5 PF 入射器や東北大核理研リニアックで使用されている
クライストロン空胴配列

このデータからでは比 l_3/l_1 が大きい程、能率が高いことだけは明らかなようである。

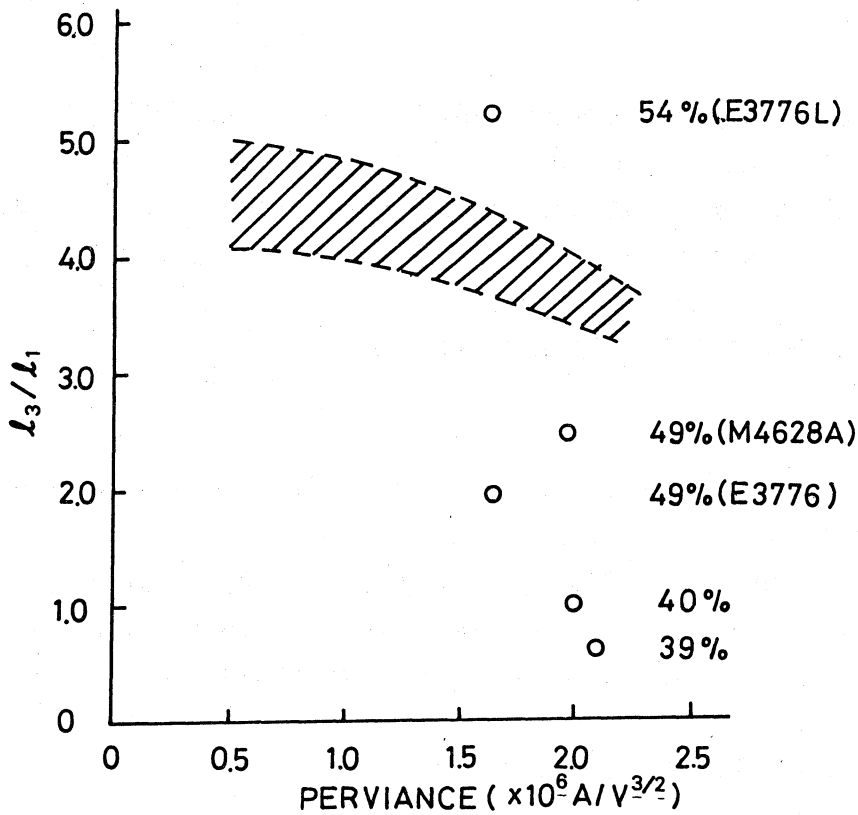


図6 クライストロンの能率と比 l_3/l_1 の関係

4. マイクロ波出力能率と最終空胴間隔 l_1 との関係

クライストロンの空胴間隔 l_1 は、電子ビーム低減プラズマ波長 λ_q を基準にして決められ、最終空胴間隔 l_1 は $0.1\lambda_q$ 以下の値に設計する場合が多い。しかし、 λ_q の値はビーム径などによって変わるので、 l_1 の最適値を計算で決定することは困難であり、 l_1 の値を表1のように変えて、マイクロ波出力能率を調べている。現在、 $l_1 \approx 90$ mmで49%の能率と25.8 MWの出力を得ている。

l_1 (mm)	75	80	90	100	108
P_o (MW)	?	?	25.8	24.6	22.6
P_{in} (W)			340	350	350
E_b (KV)			250	250	250
I_b (A)			210	209	205
E_{ff} (%)			49.0	47.0	44.1

表1 マイクロ波出力能率と最終空胴間隔 l_1 との関係

5. 結論

- 1) マイクロ波出力能率は複数空洞共振器の間隔寸法に大きく依存する。
- 2) 能率はクライストロン集束コイル電流に大きく依存する。
- 3) クライストロンはパルス使用、連続使用をとらず大出力クライストロン程能率向上による省エネルギー効果は大きい。パルスクライストロンの高効率化は余り省エネルギーにならないというのは誤りである。
- 4) 能率を 50%以上に向上することは可成り困難である。

参考文献

- 1) T. Tomimasu: Proc. 2nd Symposium on Accelerator Science and Technology (INS, Tokyo Univ., Tanashi, March, 1978) p. 49
- 2) 富増、三角、山崎、杉山、千脇、野口：電子技術総合研究所 彙報 42巻、11(1978)
- 3) T. Tomimasu: Proc. 2nd China-Japan Joint Symposium on Accelerator for Nuclear Science and Their Applications (IMP, ACADEMIA SINICA, Lanzhou, Oct., 1983) p. 135
- 4) 嶋田：特許公報 昭53-19898, 公告 1978年6月23日