

## S-band Long Pulsed Klystron for the FELI linac

Y. OHKUBO\*, M. YOSHINAO\*, H. YONEZAWA\*,  
S. OHKUMA, E. OHSHITA, K. WAKITA, T. TOMIMASU

\*TOSHIBA Corporation, Electron Device Division  
1385, Shimoishigami, Otawara, Tochigi, 324, Japan  
Free Electron Laser Research Institute, Inc.(FELI)  
4547-44, Tsuda, Hirakata, Osaka 573-01, Japan

### ABSTRACT

An s-band pulsed klystron capable of generating long output pulses has been developed for the FELI linac. The klystron demonstrated stable output powers of 24MW in 24 $\mu$ s pulse duration (mode 1), 33MW in 12.5 $\mu$ s pulse duration (mode 2) and 70MW in 4 $\mu$ s pulse duration (mode 3). The efficiency of the second klystron rose by 3 percents as compared with the first klystron operation. In this paper, design and test result of the second klystron are reported.

## FEL用Sバンドロングパルスクライストロン

### 1. はじめに

株式会社自由電子レーザー研究所 (FEL研) では、赤外から紫外域のFEL光の研究を行なっている。FEL用リニアックのRF源としては、二十数 $\mu$ sでのロングパルス動作が可能なSバンドクライストロンが必要である。本稿ではこのFEL用リニアックの高周波源として開発を行なっているSバンドパルスクライストロンE3729について報告する。

E3729は出力24MW、パルス幅24 $\mu$ sの動作、出力34MW、パルス幅12.5 $\mu$ sの動作、および出力70MW、パルス幅4 $\mu$ sの動作の3つのモードでの動作を目標としている。1994年2月に試験を行なった第1号管では、戻り電子によると思われる出力不安定がおこり、安定動作させるために集束磁界条件を変え、動作効率を下げて使用した<sup>1)</sup>。この対策として、今回報告する2号管では、ロングパルス動作での動作安定化、効率向上の対策のための設計変更を行なった。以下に2号管の設計および1995年3月に実施した試験結果について報告する。

### 2. 設計

E3729はSバンドパルスクライストロンE3712<sup>2)</sup> (パルス幅1 $\mu$ s、出力100MWおよびパルス幅4 $\mu$ s、出力80MWで動作) と空洞部以外は同一構造である。電子銃には、スカンジウム含浸型カソードを

採用している。出力回路は、1出力空洞、2出力導波管、2ピルボックス型出力窓とし、出力窓セラミックスには、マルチバクタ放電防止のため、TiN膜をコーティングしている。空洞部のみロングパルス動作に対応するため設計変更を行なっている。E3729の目標性能を表1に示す。

表1. 目標性能 ([ ]内は東芝工場試験での目標値)

動作モード		mode1	mode2	mode3
出力電力	(MW)	24	34	70 [70]
動作周波数	(MHz)	2856	←	←
ビーム電圧	(kV)	285	304	390
RFパルス幅	( $\mu$ s)	24	12.5	0.5 [4]
ビームパルス幅	( $\mu$ s)	30	20	6 [6.2]
繰り返し	(pps)	10	←	10 [50]
励振電力	(W)	Max.500	←	←

一般にクライストロンでロングパルス動作を行なうには以下1~5の問題がある。1~4については1号管の動作試験で問題ないことを確認している<sup>1)</sup>。1号管で問題となった5の問題対策として2号管では空洞部の設計を変更した。

1. 電子銃耐電圧
2. ロングパルス後半での電子銃のエミッション低下
3. 出力空洞のギャップ間の耐電圧

#### 4. 出力窓の耐電力

#### 5. ロングパルス動作の効率低下、動作安定性

2号管の空洞部設計はFCIコード<sup>3)</sup>を用い、出力空洞での戻り電子の発生が無い空洞パラメータとした。2号管からの設計変更点を表2に示す。

1号管の設計は空洞配置はモード3で最適化し、出力空洞のQ値をモード3動作のみの設計最適値より高くし、モード1、2での効率向上を図る設計とした。この時、モード1、2動作では集束磁界条件を変えることにより電子ビーム径を太くし、300kV付近動作の効率向上を図る設計とした。これに対し、2号管の設計は空洞部の配置はモード1、2のロングパルス動作電圧で最適化し、出力空洞のQ値をモード1、2動作の最適値より低くし、モード3動作とロングパルス動作での安定性に対応する設計とした。この設計変更によりFCIシミュレーションからはモード1、2動作では数%効率が向上し、ドリフト中の電子ビーム径による効率の変化が少なくなることを期待できる。また、2号管では出力空洞のQ値を下げたことにより、出力空洞のギャップ間に発生する電圧は、効率が向上したにもかかわらず1号管と同程度に抑えられる。

表2. 2号管での設計変更点

	1号管	2号管
空洞配置	モード3で最適化	モード1、2で最適化
出力空洞 Qext	24	18
第4空洞離調周波数	+78MHz	+83MHz
FCIから期待される	27%(Tap5)	37%(Tap5)
効率 (300kV動作)	35%(Tap4)	40%(Tap4)

(注：表中()内のTapはコイル端子を示す。Tap4は太い電子ビーム径、Tap5は細い電子ビーム径をあらわす。)

### 3. 試験結果

第2号管は昨年10月に東芝の工場において4 $\mu$ sのRFパルス幅での評価試験を行なった後、本年3月にFEL研のクライストロンパルサー2号機を用いロングパルス動作試験を行なった。FEL研での試験セットの構成は1号管の試験と同じであり<sup>1)</sup>、出力回路はSF<sub>6</sub>ガスを0.294MPa (2kgf/cm<sup>2</sup>)に加圧し、出力電力の値は、ダミーロード冷却水の温度上昇より求めている。東芝工場試験では出力回路は真空とし、出力電力の値は、出力合成器により

合成後、ダミーロード冷却水の温度上昇より求めている。

表3に2号管の動作試験結果を示す。この表中のモード1、2はFEL研での試験結果、モード3は東芝での工場試験結果である。この2号管の試験は集束磁界を電子ビーム径が細い条件(コイル端子5)として行なったものである。この時のクライストロンの増幅動作は安定であり、出力波形異常はおこっていない。

表3. 2号管動作試験結果 (\*東芝工場試験結果)

		model	mode2	mode3
出力電力	(MW)	24	33	71*
ビーム電圧	(kV)	284	304	378*
ビーム電流	(A)	280	316	451*
ビームパルス幅	(ms)	33	22	6.2*
RFパルス幅	( $\mu$ s)	24	12.5	4*
繰り返し	(pps)	10	10	50*
励振電力	(W)	240	240	220*
効率	(%)	31	34	42*
集束コイル電流	(A)	16	16	19.5*
コイル端子No.		5	5	5*

図1に1号管および2号管のモード1、2のビーム電圧に対するコイル端子No.5の動作における飽和出力、効率の関係を示す。2号管は同条件の1号管の試験結果と比較するとモード1、モード2動作で数%効率が向上している。図2にモード1、2動作での入出力特性を示す。入出力特性は、滑らかなものであり不安定現象は起こらなかった。

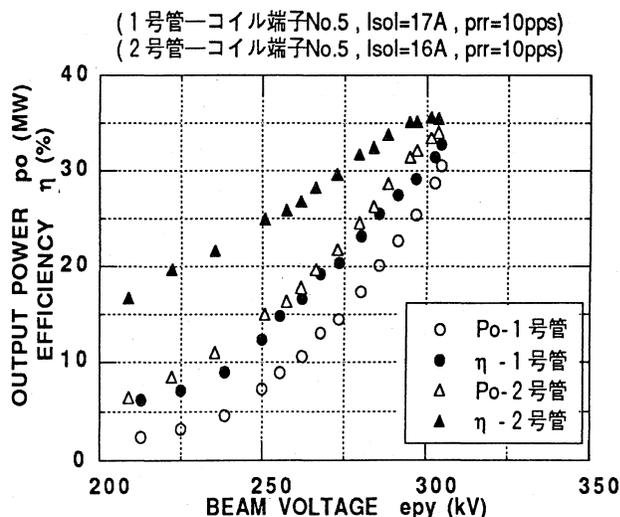


図1. 1号管、2号管の飽和特性 (モード2)

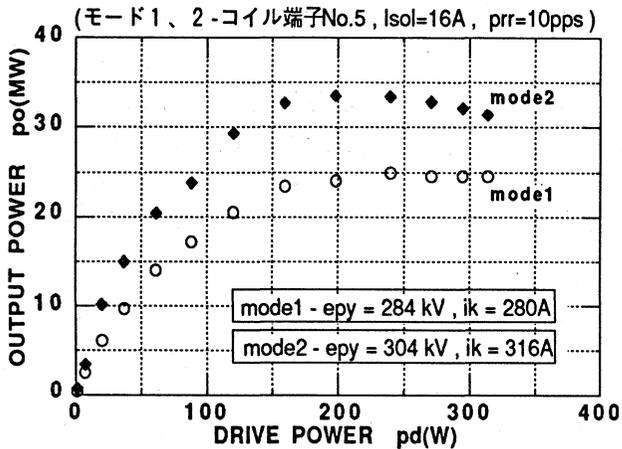


図2. 2号管の入出力特性 (モード1、2)

図3に1、2号管のモード3のビーム電圧に対するコイル端子No.5の動作における飽和出力、効率の関係を示す。2号管のビーム電圧300kV以上の動作効率は、1号管と同等の値である。図4にモード3動作の入出力特性を示す。入出力特性は、滑らかなものであり不安定現象は起こらなかった。

(1、2号管-コイル端子No.5, Isol=19.5A, prr=50pps, tp(rf)=4μs)  
(東芝工場試験結果)

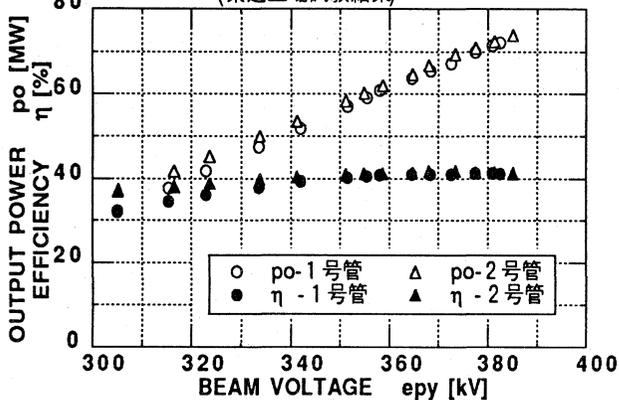


図3. 1、2号管の飽和特性 (モード3)

(epy=382kV, ik=459A, tp(rf)=4μs, Isol=19.5A, コイル端子No.5)  
(東芝工場試験結果)

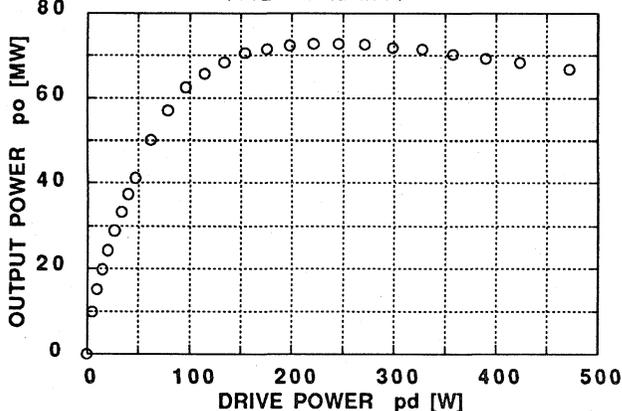


図4. 2号管の入出力特性 (モード3)

1、2号管の試験によりパルス幅 $\mu\text{s}$ および十数 $\mu\text{s}$ にて確認した電子銃耐電圧とパルス幅との関係を図5に示す。電子銃耐電圧はパルス幅の1/4乗に反比例している。ただし、パルス幅 $6\mu\text{s}$ 、 $420\text{kV}$ 動作で放電無く動作しても、パルス幅 $30\mu\text{s}$ 、 $285\text{kV}$ の動作のためには電子銃のコンディショニングが必要である。この経験からは、SLACにより報告されている出力空胴の耐電圧とパルス幅の関係<sup>4)</sup>と同様、電子銃耐電圧はパルス幅の1/3乗に反比例するという仮定が妥当と考える。今後のこのパルス幅領域の電子銃、出力空胴の設計には耐電圧がパルス幅の1/3乗に反比例するという仮定が有効と考える。

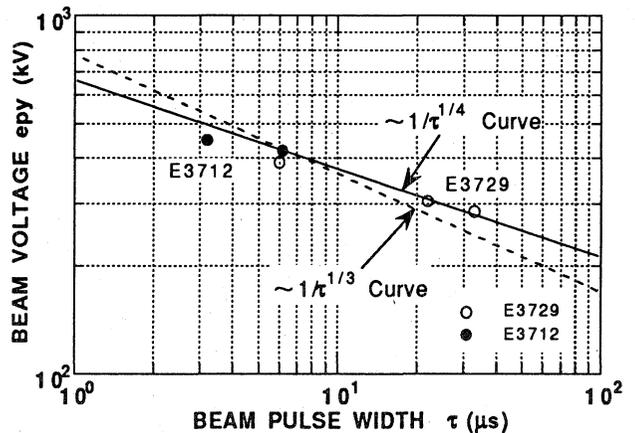


図5. ビームパルス幅とビーム電圧の関係

#### 4. おわりに

SバンドパルスクライストロンE3729は、今回報告した2号管に於てパルス幅 $24\mu\text{s}$ で出力 $24\text{MW}$ 、パルス幅 $12.5\mu\text{s}$ で出力 $33\text{MW}$ 、パルス幅 $4\mu\text{s}$ で出力 $71\text{MW}$ の安定動作を確認した。この2号管は現在FEL研でのFEL発振実験に供されている。2号管は、集束磁界を変えることによりモード1、2動作の効率が更に2%程度向上する可能性がある。今後、この追試験を行ない、効率向上の確認と動作安定化設計の検証を行なう予定である。

#### 参考資料

- 1) 森井、他 第19回ライナック研究会(1994) pp.228
- 2) H.Yonezawa, S.Miyake, K.Gonpei, K.Ohya and T.Okamoto, Proc. 14th Int. Conf. on High Energy Accelerators, Tsukuba, JAPAN, 1989, pp.[1177]/219
- 3) T.Shintake: 1989 Particle Accelerator Conference (Chicago) 1989D-3
- 4) A.E.Vlieks, M.A.Allen, R.S.Callin, W.R.Fowkes, E.W.Hoyt, J.V.Lebacqz and T.G.Lee, IEE Trans. on EI vol.24, No.6, Dec., 1989, pp.1023