

OPERATIONAL EXPERIENCE OF C-BAND ACCELERATOR AT THE SCSS PROTOTYPE ACCELERATOR

Katsutoshi Shirasawa^{1,A)}, Takahiro Inagaki^{A)}, Kazuyuki Onoe^{A)}, Yuji Otake^{A)}, Hiroshi Matsumoto^{B)},
Hitoshi Baba^{B)}, Yasuhito Igarashi^{C)}, Shinji Kakizaki^{C)}, Sadao Miura^{D)}, Tsumoru Shintake^{A)}, Hideo Kitamura^{A)}

^{A)} RIKEN/SPring-8, 1-1-1, Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5148

^{B)} KEK, 1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{C)} Mitsubishi Heavy Industries LTD, 10 Ohe-cho, Minato-ku, Nagoya, Aichi, 455-8515

^{D)} Mitsubishi Heavy Industries LTD, 5007 Itozaki-cho, Mihara, Hiroshima, 729-0393

Abstract

The C-band (5712 MHz) choke-mode type accelerating structure will be used for SCSS: SPring-8 Compact SASE Source project. Since this C-band accelerator has higher accelerating gradient than traditional S-band accelerator, it makes the machine compact and the cost low. In order to confirm the performance of the C-band accelerating system for the 8 GeV XFEL machine, the system including the almost same accelerating structure and RF system have been adapted at the SCSS prototype accelerator. In this proceeding, we report the details of the operational experience of C-band accelerator at the SCSS prototype accelerator.

SCSS試験加速器におけるCバンド加速器の運転経験

1. はじめに

X線自由電子レーザーの実現を目指すSPring-8 Compact SASE Source (SCSS)では、加速器のコンパクト化の為に主加速器として高電界のチョークモード型Cバンド(5712 MHz)加速管^[1,2]を約144本使用する。SCSS試験加速器でも主加速器としてチョークモード型Cバンド加速管(約1.8 m)が4本使用されており、入射部からの電子(30~50 MeV)を250 MeVまで加速する。アンジュレータが発生するファーストライト(自発光)を確認した2005年11月の時点では、Cバンド加速管2本を使用して120 MeV運転を行っていた。2006年6月までに、残り2本の加速管の設置とRFエージングを完了し、試験加速器の定格である250 MeV運転を安定に行なっている。2006年6月には波長49 nmにおいてSASEによるレーザー増幅を確認した^[3]。

2. C-band加速器

SCSSの試験加速器ではCバンド部に50 MW級クライストロン2台とチョークモード型Cバンド加速管(1.8 m)が4本設置されており、入射部からの電子(30~50 MeV)を250 MeVまで加速する。図1に加速器収納部に設置された加速管を示す。架台には熱膨張係数が通常の鉄で作られたものに比べ約一桁小さいコージライトが採用されている^[4]。図2に1ユニットあたりのシステム構成を示す。クライストロンごとにユニットとしてまとめられており、1台のクライストロンからの出力をパルスコンプレッサーにてパルス圧縮し、分割して2本の加速管にRFを供給する。クライストロンを動作させるための高電圧パルスはインバーター電源と密閉型変調器電源を用



図1, 加速器下流から撮影したCバンド加速器。熱膨張係数の小さいコージライト架台が採用されている。

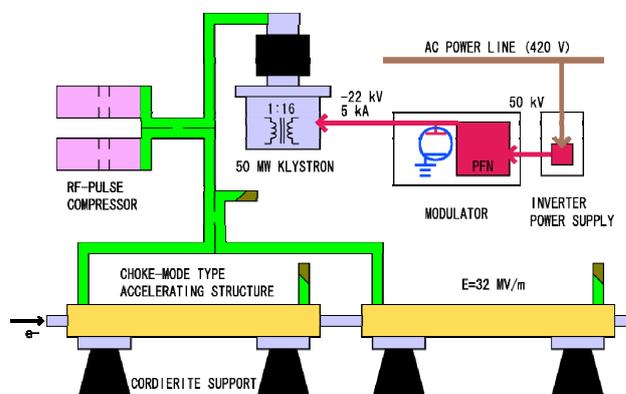


図2, Cバンド加速器1ユニットの構成図。クライストロンに付随する各種電源もユニット毎にまとめられている。

¹ E-mail: kshira@spring8.or.jp

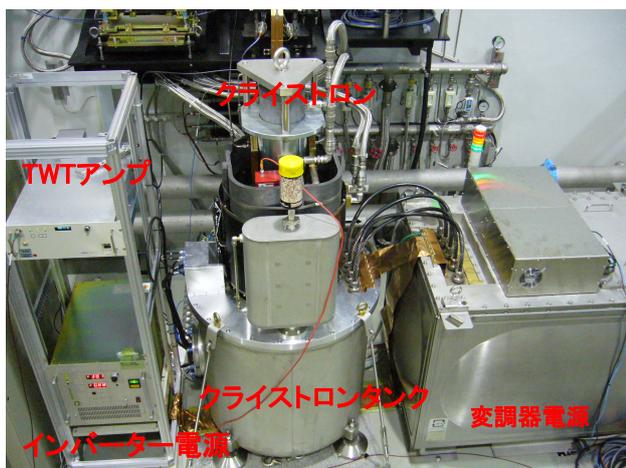


図3, Cバンドクライストロンとそれに付随する電源。

いて発生している^[5]。全ての機器は、SCSSで採用されているMADUCAシステム^[6]で端末上から制御することが可能となっている。図3にクライストロンとそれに付随する電源の写真を示す。クライストロンを中心に各種電源が設置されている。

3. RFエージング

加速管の設置後、24時間×3週間(土日休み)のRFエージングを行った。最初の2日間のみ10 pps運転でエージングを行い、以降は60 ppsでエージングを行なった。エージングは端末から自動化プログラムによりコントロールされ、真空度を監視しながらクライストロン電圧をコントロールし加速管に入力するRFパワーを徐々に増やしていった。RFパワーが定格まで到達したら一旦RFパワーを下げて、パルス幅を広げることを繰り返し、エージングを進めた。図4にRFエージング初日の真空度とインバーター電源の充電電圧の変化を示す。真空計はSLED部に1台、2本の加速管の間に1台、加速管の最下流に1台が設置されている。徐々に充電電圧が上がっており、加速管に入るRFパワーの上限が高くなっていく様子が分かる。充電電圧が0 kVまで落ちている箇所は、放電による真空の悪化でインターロックが動作してエージングが中断したことを示している。このような場合には、エージングプログラムにより約1分後に自動で再スタートを行なった。RFパルスの時間幅は0.1 μ sからスタートし、RF出力が定格に到達するたびに0.1 μ sステップで広げていった。また、パルス幅が1.0 μ sに到達した時点で位相反転を開始し、以後パルス圧縮した状態でエージングを進めた。以上の手順でエージングを行い、最終的にRFパルス幅2.5 μ s(2.0 μ s後に位相反転しパルス圧縮)の条件でクライストロン出力を37 MWまで上げることが出来た。このとき、加速管入り口で測定したRF波形を図5に示す。加速管への入力パワーは加速管のフィリングタイム(\sim 300 ns)で平均すると53 MW, 加速電界は \sim 32 MV/mであった。運転に十分な電界が得られたことと、時間の制約でビームコ

ミッショニングを進めるため、エージングはこの時点で終了とした。

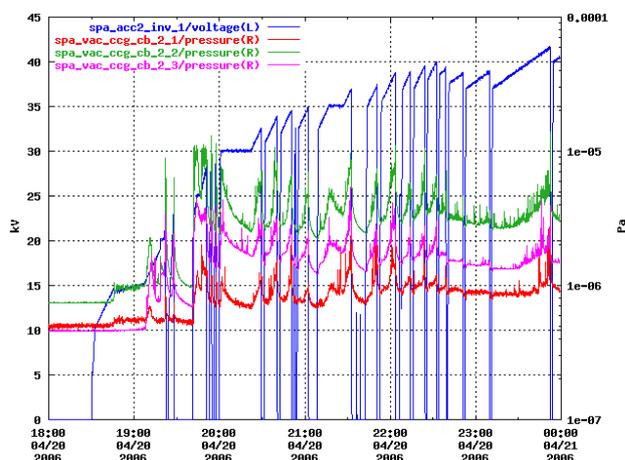


図4, RFエージング開始時の加速管内部の真空度(緑, ピンク, 赤色の実線)とインバーター電源の充電電圧(青色の実線)。画像はWebブラウザでMADUCAシステムのデータベースにアクセスしたときのものである。

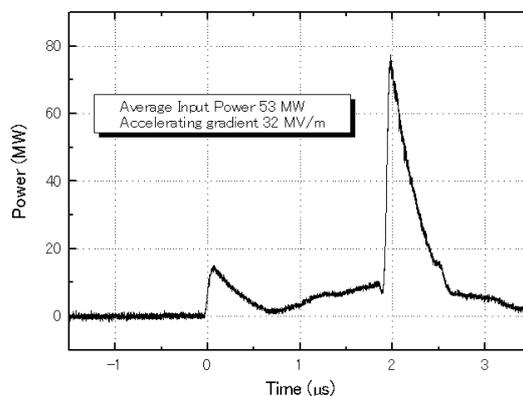


図5, 加速管入り口でのRF波形。クライストロン出力は37 MWであった。入力パワーは加速管のフィリングタイム(\sim 300 ns)の平均値である。

4. パルスコンプレッサーの調整

SCSS試験加速器ではクライストロン出力をパルス圧縮して加速管へ入力するためにKEKの入射器グループが開発したSKIP (SuperKEKB Injector Pulse compressor)^[7]とSLED (SLAC Energy Doubler)^[8]が設置されている。共に三菱重工(名航)が製作したものであり、納入時に測定されたパラメータを表1に示す。各パラメータは異なっているが得られるゲインはほぼ同じである。

両パルスコンプレッサーとも設置前にオフラインでローパワーのRFを使用した空洞の調整を行った。さらに加速器への設置後に冷却水温度を変化させて

ゲインが最大となるように温度の最適化を行なった。SLEDの物温とRF出力の関係を図6に示す。このときのクライストロン出力は37 MWであった。オフラインでの調整ではSLEDの物温が30.0 °Cのときにゲインが最大となるように、空洞の端板を調整したのだが、ハイパワーRFを入力したときの最適な物温は29.0 °Cであった。以降、通常運転も29 °Cで行なっている

	SKIP	SLED
周波数	5712 MHz	
Q_0	130000	170000
共振モード	TE038	TE01,15
β	6.3	8.2

表1, パルスコンプレッサーのパラメータ。加速器上流のクライストロンにSKIP, 下流にSLEDが設置されている。

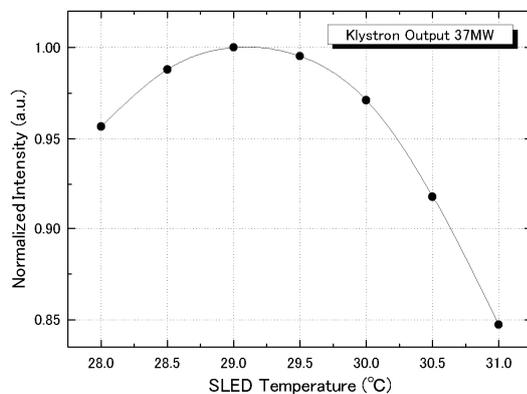


図6, SLEDの冷却水温度と出力パワーの関係。クライストロン出力は37 MW。SLEDの物温が29.0 °Cの時出力が最大となっている。

5. ビームエネルギー測定と安定度

Cバンド加速器のエネルギーゲインを求めるため、上流のCバンドクライストロンのみを出力27 MWで

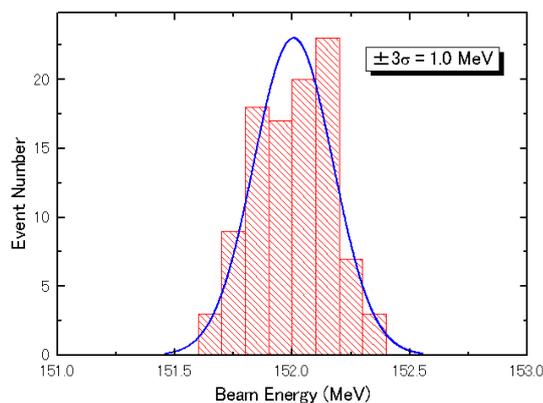


図7, Cバンド加速器の下流にあるシケイン部のプロファイルモニタで測定した電子ビームエネルギー。

運転し、下流のシケイン部に設置されたプロファイルモニタ^[9]を使用してショット毎の電子ビームエネルギーを測定した。図7に100ショットのエネルギー分布を示す。横軸は電子ビームプロファイルの重心位置をシケイン部の電磁石のデータを用いて電子ビームエネルギーに変換した。エネルギーの安定度は152 MeVに対して全幅で1.0 MeVであった。Cバンド加速器のみのエネルギーゲインは106 MeV, 加速管は2本のみ動作しているため加速勾配は29 MV/mであった。

6. 運転状況とまとめ

2006年7月までのレーザー発振を目的としたビームコミッションでは、電子ビームエネルギー250 MeV, 繰り返しは5 ppsで加速器を運転している。これに対するCバンド加速器の運転パラメータは、RFパルス幅2.5 μ s (2.0 μ s後に位相反転しパルス圧縮), クライストロン出力27 MW, クライストロンカソード電圧300 kV, 平均加速電界 \sim 28 MV/mであり、安定に運転を行なっている。放電, 真空悪化などによる運転の中断はほとんど無い。また, 約3週間のRFエージングを行ない, Cバンド加速器として8 GeV加速器で予定している加速電界32 MV/m以上の性能が得られていることを確認した。今後, エージングを進めることによって, 加速電界の上限値を電子ビームを用いて実測する予定である。

謝辞

加速管の設置作業やエージングに参加していただいた, SCSSスタッフに感謝いたします。

参考文献

- [1] T. Shintake, et. al, "HOM-Free Linear Accelerating Structure for e+e- Linear Collider at Cband", PAC'95, KEK-Preprint, 95-48, (1995)
- [2] 三浦雄祐, "理研SASE-FEL計画用Cバンド チョークモード型加速管の製造", 本研究会ポスター発表
- [3] SCSS建設グループ同, "SCSS試験加速器の現状、ならびにX線自由電子レーザー計画について", 本研究会口頭発表
- [4] 大竹雄次他, "コージライト製安定架台の開発：振動測定について", 409-411, 第2回日本加速器学会年会報告集
- [5] 稲垣隆宏他, "C-band チョークモード型加速管の高電界試験", 343-345, 第2回日本加速器学会年会報告集
- [6] 大端通他, "SCSS試験加速器における制御システム" 本研究会ポスター発表
- [7] T. Sugimura, et. al, "SKIP - A PULSE COMPRESSOR FOR SUPERKEKB", Proceedings of LINAC 2004, 754-756 (2004)
- [8] 吉田光宏他, "低熱膨張材を用いたC-band RFパルスコンプレッサーの大電力試験" 第28回リニアック技術研究会
- [9] 井上忍他, "SCSS試験加速器におけるビームプロファイルモニタ" 本研究会ポスター発表