

Nextef : 100MW-Class X-BAND ACCELERATOR STRUCTURE TEST FACILITY at KEK

Shuji Matsumoto¹, Mitsuo Akemoto, Noboru Kudoh, Tetsuo Shidara, Toshiyasu Higo, Shigeki Fukuda, Hiromitsu Nakajima, Hideki Matsushita, Kazue Yokoyama, Mitsuhiro Yoshida
Accelerator Laboratory, KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

Nextef is the 100MW-class X-band (11.424GHz) RF test facility in KEK. By combining the power from two klystrons, 100MW RF power is produced. It is planned to conduct fundamental research programs such as the RF breakdown experiment with specially designed waveguides as well as the high power testing of accelerator structures as a research on future normal conducting high gradient linear accelerators. The construction work was completed and the commissioning of the whole facility was started in November 2007. The operation for accelerator structure testing will start soon.

100MW級Xバンド加速管試験施設Nextefについて

1. はじめに

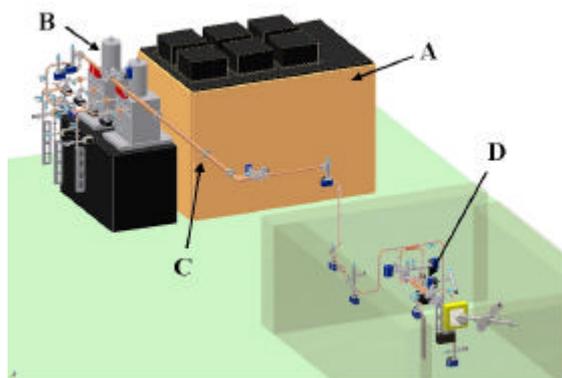


図1: Nextef概念図。A:モジュレーター、B:クライストロン、C:導波管、D: コンクリートシールド内の試験加速管。

New X-band Test Facility (Nextef) [1] と名づけたXバンド帯 (11.424GHz) 100MW級RF試験施設の稼動を開始した。この施設は、常伝導線形加速器における高電界加速 (加速勾配100MV/m) の可能性を探る目的のために、KEKB入射器棟内に設置された。当初はXバンド帯加速管の高電界試験 [2] のほか、狭導波管 [3] や専用空洞などを用いた高電力RFの基礎的試験も行う予定であった。が、当面、後述する共同研究に供される予定である。昨年 (2007年) 8月末に主要な建設作業を終了し、同年11月よりRF試験運転を開始した。

Nextefを構成する各機器の配置を図1にあてえた。一台のモジュレーター (図中A) で50MW級クライストロン2台 (同B) を同時に駆動し、各クライストロン (最大出力50MW) からのRF出力を合成する (最大合成出力100MW)。合成出力は、低損失円形導波管 (同C) を通じてコン

クリートシールド (壁厚50cm) 内まで搬送される。シールド内に加速管などの試験体を格納、搬送されたRF出力を使って、各種の高電界試験をおこなう (同D)。なお、各種電源、制御機器、モニター等を収容する制御室は図1では省略されている。

表1: Nextef 定格

Frequency	11.424GHz
Max power production	100MW
Max power for test*	75MW
Pulse width	400ns
Repetition rate	50pps

* 搬送損失25% (実測値)

当施設のモジュレーターやクライストロンなど大電力RF機器類、また大半の各種コンポーネント類は、かつてKEKアセンブリホール内に展開していたリニアコライダー試験施設 (Global Linear Collider Test Accelerator: GLCTA) の資産を受け継いでいる。GLCTAは、2002年の建設開始後、加速管試験施設やクライストロン試験ステーションが順次整備運用されていったが、2004年に国際衝突型超伝導線形加速器計画 (ILCプロジェクト) が発足したのに伴い、その建設計画は凍結された。これ以降は既存施設を利用を一年半ほど続け、2007年春に施設を撤去したが、その一部がNextefとして再生された。

Nextefの建設作業開始直後の2007年6月、新たにCERNを中心としての国際共同研究がSLACとKEKをパートナーとして発足した [4]。共同研究のそもそもの発端は、CLIC計画の主線形加速器の周波数をXバンド帯に選択しなおしたことによる (30GHz - 12GHz) [5]。主線形加速器での高電

¹ E-mail: shuji.matsumoto@kek.jp

界加速（100MV/m）の実現可能性の検証と、プロトタイプ加速管の開発研究のための高電力試験を行うため、Nextefは当時まだ建設半ばであったが、この高電力試験に協力することを決定した。現在、Nextefは加速管試験のための最終調整運転中であり、今秋以降、プロトタイプ加速管の試験をCERN - CLICグループとの共同研究としておこなう。

2. 施設概要

2.1 モジュレーター[6]

モジュレーター基本構成は、筐体内にPFN回路を二組の並列に配置、それぞれの回路に一本ずつサイクロトロンを接続してあり、その二本を同時に点弧（トリガー）する。出力パルスは、パルストランスで昇圧されクライストロン二本に同時に給電される（昇圧比1:24）。PFNの充電にはインバーター（50kV 30kJ/s）を2台使用する。モジュレーターの運転パラメータを表1に示した。設計仕様であるGLCTAでの要求性能とくらべ、Nextefでのそれ（繰り返し50pps、RFパルス幅400ns）は、控えめである。現在、PFN段数を半分に減らし、要求RFパルス幅に見合った半値幅約2マイクロ秒で運転している。運転状態は、これまで良好で、おおきなトラブルには見舞われていない。

表1:Nextefモジュレーター運転仕様

Peak Output Power	283 MW
Primary Output Voltage	21 kV
Primary Output Current	13.6 kA
Pulse width	2.0 μ s (4.5 μ s)
Flat-top width	>0.8 μ s (>1.6 μ s)
Repetition Rate	50pps (150 pps)

()内は設計仕様[6]。

2.2 クライストロン[7]

GLCTA から移設してきたPPM収束方式(periodic permanent magnet)のクライストロンを最大出力を50MWで二本使用する。クライストロンの運転パラメータを表2にあげた。

表2: Nextef クライストロンの運転仕様

Operating Frequency	11.424 GHz
RF Pulse Width	0.4 μ s
Peak Output Power	50 MW
Beam Voltage	460 kV
Repetition Rate	50 pps
Efficiency	43 %

2.3 加速管試験測定器

試験体（加速管）は各種モニターが設置され

ている専用の架台上で試験される。配置平面図を図2に与えた。暗電流のモニターシステム（Faraday Cup, CTによる電流波形、分析磁石によるエネルギー同定）のほか、放電検出モニターとして、音響計測（SLACで開発されたシステム）、光電子増倍管を用いたX線検出器を備えている。また各種RFパルス波形記録に関して、試験体での放電時、その放電にいたるまでの過去の十パルス分ほどの履歴波形を保存記録するシステムを準備中である[8]。

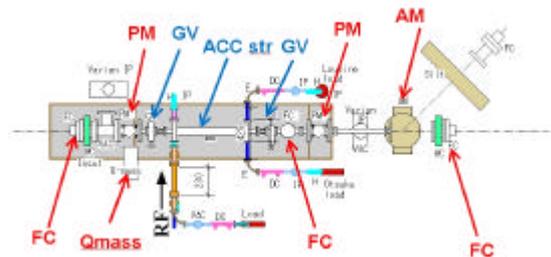


図2: Nextefシールド内試験加速管モニターのセットアップ。ACC str: 試験加速管, FC: FaradayCup, PM: Profile Monitor, AM: Analyser magnet, GV: Gate Valve。

2.4 運転制御系

コントロールシステムについては、先行して整備されたX-Band Klystron Test Stationのものを雛型としている。制御端末を現場に設け、これをKEKB入射器制御システム内から監視することでリモート運転が可能である。KEKB入射器の制御系の一部として、LINUXとEPICSによる試験データ取得や保存ができる。

3. 運転状況

Nextef運転は、KEKB入射器運転の一部として管理され、入射器運転時(年間約6000時間)には、24時間運転が可能である。

Nextefのコミッショニングは、昨年9月より、まずクライストロンの単独運転から開始され、ひきつづいて昨年11月ごろより、導波管系をダミーロードで終端し、加速管などは接続されていない状態でのRF運転が開始された。本年2月の時点で、合成出力50MWでの運転を行っていたが、導波管系でのアウトガスやRFロードでの予想よりも低いパワーでの放電などのため、当初計画から3ヶ月程度の遅れを生じたが、4月以降、順調にパワーを伸ばし、5月後半からの運転では、合成出力が90MWを超えた（パルス幅210ns）。この時点で、今秋以降予定されている加速管試験のために必要なRF出力およびシステムフォールトレート(安定性)は、加速管試験可能な水準に達したと判断し、6月より、2006年に試験されたXバンド加速管KX03[2]を導入して、今秋からの加速管試験のためのモニター類の準備を開始した(履歴は図3)。

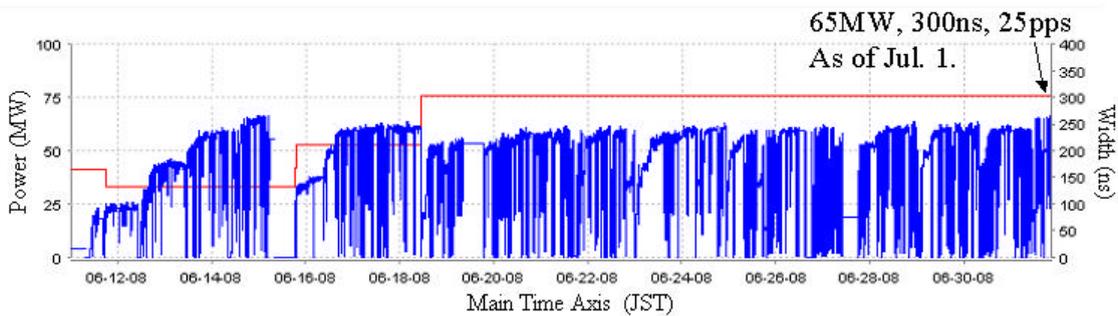


図3：加速管KX03を入れたRUN061108の加速管入力パワー（青）とRFパルス幅(赤)の履歴。7月1日に300nsで65MWの加速管入力に到達した。

現在もKX03を伴ったコンデショニング運転を継続中で、時折起こる加速管での放電を利用して、放電位置同定のためのシステムや放電検知後のインターロック系、波形データの取得システムなどのコミッシングを行っている。

今秋より試験を開始する共同開発加速管（名称：T18_vg2.4_Disk。外観は図4参照）の加速管試験に必要なパワーレベルは、試験目標の加速勾配～100MV/mに対し、加速管への入力～55MW、300nsである。（Nextefは現在このレベルを超えたところでコンデショニング運転中である。）ちなみにこの加速管は、前出の共同研究の一つのプログラムとして進行中で、主として加速管設計をCERN、加工をKEK、組み立てをSLACで分担し、同じ設計で複数の加速管を製作し、KEKとSLACで試験を分担して行なっていくものである[9]。共同研究では、今後、図5にあるような一連の100MV/m加速勾配の試験用プロトタイプ加速管を順次製作試験していく予定で、当面Nextefは、この共同研究のスケジュールに沿った形で運用される見通しである。

4. 謝辞

移設計画の立案段階から本格運用開始直前の現在にいたるまで、KEKB入射器主幹他、入射器関係者に支援尽力いただいています。ここに感謝します。また、Nextefの運用に関しては、CERNの所長を始め、CLIC関連の方々や、SLACの常伝導加速器研究グループの方々の大きな協力支援のもとに遂行されています。ここに感謝致します。

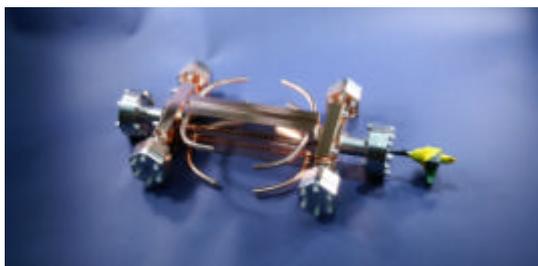


図4：Test structure T18_vg2.4_Disk #2.

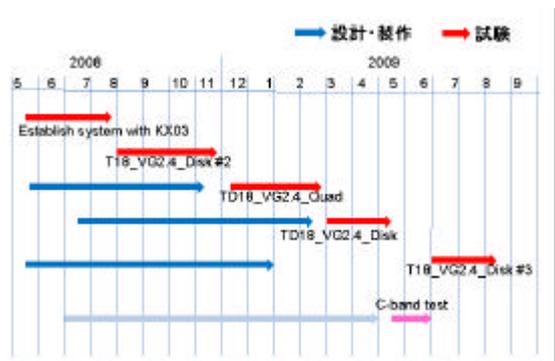


図5：今後のNextefでの試験予定。共同開発する加速管を順次試験していく。

参考文献

- [1] <http://www-linac.kek.jp/nextef/index.html>.
- [2] T.Higo, et al., “Normal Conducting High-gradient Studies at KEK”, THP038, Proceedings of Linac 2006, Knoxville, Tennessee USA, 2006.
- [3] K.Yokoyama, et al., TP09, “High-Field Experiment with Narrow Waveguide”, these proceedings.
- [4] The X-Band Accelerating Structure Design and Test-Program Workshop, June 18-19, 2007, CERN, <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=15112>.
- [5] H. H. Braun, “Toward a Multi-TeV linear collider; Drive Beam generation with CTF3”, APAC’07, Indore, India, Feb 2007.
- [6] M.Akemoto et al., “Pulse Modulator for X-band Klystron at GLCTA”, Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Society of Japan and 29th Linear Accelerator Meeting in Japan.
- [5] S.Matsumoto, et al., “Study of PPM-Focused X-Band Pulse Klystron”, THP027, Proceedings of Linac 2006, Knoxville, Tennessee USA, 2006.
- [8] T.Ushimoto, et al., “RF Waveform Acquisition System at Nextef”, TP104, these proceedings.
- [9] T.Higo, et al., “Research of X-Band High Gradient Acceleration”, TP095, these proceedings.