超伝導加速システム 超伝導RF試験施設KEK-STFでの開発状況

H. Hayano 01232010

目次

- STFの開発状況

 (a) STF Phase-1の結果
 (a') 'S1-Global' cryomodule test
 (b) STF phase-2の計画(方針とスケジュール)
 (c) 空洞高電界化へのシナリオ
- 2. STF開発の今後の計画
- 3. 低コスト、マスプロダクションのための計画

1. STFの開発状況

超伝導加速モジュールの開発



STF の開発計画

Phase 1 (2005 - 2008)

ILC SC-RF technology development

TESLA-style cavity technology,

LL-type cavity technology,

cryomodule, 2K cryogenics, HLRF, LLRF technologies.

SC-RF infra-structure development

Electro-chemical polish facility, clean room, vertical test-stand, cryomodule assembly

Phase 2 (2009 - 2014)

Demonstration of ILC Main Linac RF unit

ILC BCD performance demonstration, longterm stable operation demonstration, technical detailed design and precise cost evaluation.

Cavity Industrialization study (2009 – 2014) R&D of ILC cavity pilot plant

ILC試験設備の場所



KEK つくばキャンパス(北側上空より)



(a) STF phase-1の結果

Phase-1: ILC加速ユニットの基本技術獲得とインフラ整備が目標

STF Phase1.0 4 TESLA-style cavities in a short cryomodule

Cool-down test: May 2008 – Dec. 2008 Experience of ILC cryomodule technology

cryomodule assembly, 2k cryogenics technology, low heat load technology, cavity control for high performance for pulsed RF, LLRF digital control technology, RF power distribution, Qext control.



Loaded Q control using external phase shifter and reflector. +/-15% QL control was possible.



Cavity assembly in clean room



Cryomodule cold-mass assembly

Cavity performance in short cryomodule



Surface treatment and Vertical test

Electro-chemical polish at STF



EP acid: HF + H₂SO₄ Aluminum anode, surface removal speed: 20μm/hour, ~18V ~270A ~30degC (for 9-cell) cavity rotation: 1 rot/min



Vertical test at STF

(a') 'S1 Global' cryomodule test

KEK-STFがホストし、 国際協力で平均31.5MV/m運転の加速モジュールを実証

S1-Global cryomodule test

Demonstration of average gradient 31.5MV/m cryomodule by international collaboration

Realization of ILC Plug-compatibility concept



S1-Global Module C (DESY, FNAL cavities)



Cryomodule and cavities were arrived at STF on Jan. 2010.



Final VT Results of MHI Cavities



Global Design Effort



各モードの軸上電場強度

Eacc,max (cell) by Passbands modes Meas.



(b) STF phase-2の計画(方針とスケジュール)

Phase-2: ILC加速ユニットの建設担当能力実証と性能実証

STF phase2.0 accelerator



Cavities : 2+26 Klystrons : 5MW + 5MW + 10MW Beam : 850MeV, 1ms train、9mA、 5Hz

ILC structure beam, high pressure vessel regulation, beam user section in downstream

Component

Photocathode-RFgun : DESY-FNAL gun cavity, JINR-IAP Laser, ATF photo-cathode Capture cavities: two 9-cell SC cavities in short cryomodule Cryomodule: three ILC cryomodules with 26 SC cavities Klystron: horizontal 10MW multi-beam klystron Modulator: bouncer type modulator waveguide: Linear-type power distribution

STF phase2.0 accelerator :Tunnel Layout



V9.0 H. Hayano, 09/18/2009

Compact X-ray source experiment using STF2 injector



Compact Light Source accelerator in STF Phase 2



STF Plans for 5 years



(c) 空洞高電界化へのシナリオ

>35MV/m Q>8x10⁹ at vertical test, average 31.5MV/m Q>1x10¹⁰ in cryomodule operation

加速空洞の状況 Compare 1st and 2nd pass yields updated, Dec. 2009

Electropolished 9-cell cavities



7 January 2010 SCRF AAP Review

Global Design Effort

Global Plan for SCRF R&D

Year	07	200	8	2009	2	010	2011	2012
Phase	TDP-1				TDP-2			
Cavity Gradient in v. test to reach 35 MV/m	→ Process Yield 50%				→ Production Yield 90%			
Cavity-string to reach 31.5 MV/m, with one- cryomodule		Global effort for str assembly and test (DESY, FNAL, INFN, KEK)				ing		
System Test with beam acceleration	FLASH (DES STF2 (K				ESY) Kek	f), NML (FNAL)K, extend beyond 2012)		
Preparation for Industrialization			Ρ	Production Technology R&D				

加速電界阻害の原因



加速空洞の加速性能歩留まり向上のための施策

2012年までに縦測定試験にて35MV/m以上を90%歩留まりで。

(1) 25MV/m<u>以下</u>の空洞の性能向上

原因は内面欠陥(製造工程時や溶接時に起きるバンプやピットや傷、表面処理時に発生する傷やピット)

➡ 製造工程QC、表面処理工程QCの向上。 (診断機器の開発、診断結果のフィードバック)

キーテクノロジー:ニオブ板材製造、プレス、電子ビーム溶接

(2) 25MV/m<u>以上</u>の空洞の性能向上

原因は電界電子放出現象と高電界時のQ値減少。製造後に行われる表面処理工程に依存。

表面残留物のない表面処理法の開発。 (表面診断方法の開発、診断結果のフィードバック)

キーテクノロジー:電解研磨とリンス工程、クリーンルームアセンブリー

空洞高電界化へのシナリオ

• step 1: 低電界で性能がリミットされる原因を追及

クエンチに対して: 高分解能内面カメラと温度マップを用いて研究 電界放出に対して: 表面残留物や酸化ニオブ膜を研究(SEM, XPS, SIMS, FE-scan) 高電界Q値減少: 表面状態を分析、酸素拡散?結晶配向?(XPS、X線散乱分析)

• step 2: 対策手段を開発

クエンチに対して: 材料表面のエディカレントスキャン、局所研磨器開発、... 電界放出に対して: 低電圧電解研磨、酸化膜制御、界面活性剤リンス、スポンジ洗浄、... 高電界Q値減少: アニール、ベーキング、...

• step 3: 対策手段の実証

問題のある空洞の相互交換研究、対策手段の応用、...

step 4: 対策手段の効果を統計で実証

効果のある対策手段を世界中にひろめて統計をあげる。

Temperature-mapping, Xray-mapping in every vertical test



空洞内面検査カメラの開発





自動撮影ソフトウェア



空洞内面の欠陥とクエンチとの関係



Sample: MHI-01 ~ MHI-09, AES-01 : 10 cavities. Number of cell = 90 cells Number of detected spot = 49 spots.



Larger, deeper (or higher) pits (or holes) seem to cause quenches. However,

* Not all of the optically observed defects lead to problems.

* Note: preliminary results of analysis which utilizes *both* the pi-mode and pass-band measurements.

発熱に至る欠陥、発熱しない欠陥とがある。

KEK Analysis Tools: 表面残留物分析

10µm



2. STF開発の今後の計画

STF開発の今後の計画

(1)STFでは技術的にどこまで実現しているか?

- (a) ILCの半分の長さの加速モジュールを設計、建設、運転実証(平均23MV/m)。
- (b) ILCの半分のRFパワー(5MW)の高周波電力源を実証。
- (c) デジタルRFフィードバック技術を実証(DESYにてビームでも実証)。
- (d) 液体窒素、液体ヘリウムの2種類の冷媒を用いた2K冷却システムを実証。
- (e) 表面処理、空洞測定のインフラは整った。 ILCの半分の長さのモジュールアッセンブリー設備が整った。

(2)何が実証されていない技術項目か?

空洞の加速勾配(内面欠陥、フィールドエミッション問題)、 空洞のHOMダンピング、空洞アライメント、 チューナー、入力カップラー、ILC型モジュールアセンブリー、 Qマグ機械振動、高精度BPM、 ヒートロード、液体ヘリウムのみによる2K冷却方式、 RFパワーソース(MBK、マルクス変調器)、RFパワー分配、DRFSシステム、...

STF開発の今後の計画(2)

(3)どのようにして技術実証していくか?

空洞の加速勾配:各種診断装置の開発、空洞製造QCと電解研磨設備運転の最適化。 加速モジュール詳細技術:ILC型クライオモジュールの設計、建設を通して。 RFパワーソース技術:ILC型パワーソース建設、DRFS開発を通して。

2012年までのSTF phase 2 開発

ILC型加速モジュール1台の建設と運転

加速モジュール試験用のビーム源の建設と運転

10MWマルチビームクライストロンの運転実証、DRFSシステムの運転実証

加速空洞は35MV/m加速勾配、90%歩留まり(縦測定)を目指す。



2014年までのSTF phase 2 開発

ILC型加速モジュール複数台の建設と運転 KEK製造空洞複数台をモジュールに組込む 3つの製造会社の空洞をモジュールに組込む

3. 低コスト、マスプロダクションのための方策

ILCの空洞生産期間の定義(RDRによる)



もし、日本が1/3の製造担当をすると、 超伝導空洞 17325台/3 /(5年) = 1155台/年 (1155台/200日 = 6台/日)

国内のn社 m個の製造ラインで担当すると 1155台/(n x m) の能力の製造ラインが必要

例えば、3社それぞれが3ラインで担当するとすると;128台/年の製造ライン(3台/week) 「3台バッチの最終組立てEBWを使い5日で3台を仕上げる」ラインが必要

製造する空洞(ここではTESLA空洞を仮定)



(高圧ガス容器の外側)

空洞部品の種類と点数



2個

空洞製造設備(パイロットプラント)の立ち上げ



空洞製造設備の設置場所



まとめ

・ STFのR&D計画

- (a) STF phase-1の策定と実行結果:一渡りの技術経験とインフラ整備を実現した。
- (b) STF phase-2の策定(方針とスケジュール):ILC加速器実証に向け開発を開始した。

(c) 空洞高電界化へのシナリオ:高電界化のシナリオにそって順次開発中。STF発の技術貢 献あり。残念ながらDESYやJLABにまだ追いついていない。

(d) メーカーを指導できる空洞製造技術の獲得と大量生産技術の開発

今後の見通し

(1) 2012年までに高電界空洞の歩留まりを実証できるように空洞製造QC向上と 表面処理技術確立を行う。

(2) 2012年までにILC型加速モジュール1台を建設し、2013年に運転実証する。

- (3) ~2014年までにILC型加速モジュール複数台を建設し、運転実証を行う。
- (4) 2012年までにKEK内での空洞製造技術確立、大量生産技術研究を開始。