会議報告

TTC ミーティング会議報告

山本　康史*

Conference Report of TTC Meeting at University of Milano in 2011

Yasuchika YAMAMOTO *

Abstract

TTC（TESLA Technology Collaboration）Meeting was held at University of Milano from 28/Feb to 3/Mar in 2011. About 70 participants discussed various contents, that is, cavity performance, cryomodule test, cavity industrialization and fundamental study of field emission. After the meeting, several participants visited LASA, which is the accelerator laboratory at Milano. In this report, the overview of the meeting and the visit will be presented briefly.

1. はじめに

TTC（TESLA Technology Collaboration）ミーティングは2年に3回開催されている国際会議で，開催場所はアジア，北米，ヨーロッパの3地域の持ち回りで決められている．26回目となる今回はイタリアのミラノ大学で行われ，70名以上の参加者が集まった．元々はDESYで進められていたLバンドの超伝導加速器技術に関して始まった会議であるが，ここ最近は陽子や重イオン加速器への応用に関するトピックも扱われるようになってきた．したがって，会議の参加者の顔ぶれも多岐に亘っており，2年毎に開催されるSRF会議（International Conference on RF Superconductivity）の小規模版といった感じである．

会場となったミラノ大学は15～6世紀頃に建造された建物をそのまま使用しており，到る処が遺跡だらけであった．会議室は18世紀建造の教会だったところで，本当に大学かと見紛う程に立派な部屋であった（**図1**）．会議の中日に大学構内の遺跡の前で撮影された集合写真も併せて載せておく（**図2**）．

なお，この会議のホームページは文末の参考文献に書かれている通りであり，そこから各発表資料もダウンロードできる．

2. 会議報告

会議の冒頭でホストのCarlo Pagani氏から挨拶が行われた後，現在進行（計画）中の3種類の超伝導加速器計画についての状況報告があった．すなわち，陽子加速器のESS（European Spallation Source），電子加速器のXFEL，重イオン加速器のKoRIA（Korean Rare Isotope Accelerator）である（この配置に会議主催者の意図が現われているように見える）．

DESYで建設中のXFELは今年になっていよいよ主トンネルの掘削作業に入り，並行して各建屋の基礎工事も行われている．当初は800台の超伝導空洞を100台のクライオモジュールに収めて運転する予定であったのが，コストを始めとする諸事情により，640台の空洞を80台のクライオモジュールに収納して運転することになった．この変更に伴い，運転加速勾配が23.6 MV/mから24.3 MV/mに上がり，またRF stationの数は25から20へと減り，ビームエネルギーは17.5 GeVから14.0 GeVへと下がった．実際に大量生産が始まると，空洞及びクライオモジュールはDESYとCEA-Saclayの間を往復する．即ち，まずDESYで空洞単体の性能試験までを行い，その後CEA-Saclayでそれらをクライオモジュールに組み込み，再びDESYに送り返されてそこで最終試験を行う．そのため，輸送中の取り扱いに因り空洞性能が劣化しないかなどのシミュレーションも行われている．また，大量生産のため如何に効率よく諸々の作業や試験を行うか，ということをよく検討しており，その内容に沿って実験設備や組み立て設備の設計も行っている．XFELの完成

* 高エネルギー加速器研究機構　KEK, High Energy Accelerator Research Organization
（E-mail:yasuchika.yamamoto@kek.jp）

は2014年とのことである．

一方，ESSとKoRIA計画の二つは未だ設計段階にあり具体的な設計の詰めはこれから，と見られる．ESSは2018年の運転開始を目標に計画を立案しており，5 MW/50 mAの陽子ビームの20 Hz/2 msでのパルス運転を目論んでいる（15 MWまでの増強案も検討中）．建設場所はスウェーデンにあるLund大学の近郊になるようである．704 MHzの5連空洞を，ビームの速度に応じて形状を調整して用いる．周波数調整機構としてINFNで開発されているブレードチューナーも搭載予定である．パートナーにDESYとCEA-Saclayが入っているので，そこからXFELのマンパワー及び技術の供給が行われるものと思われる．KoRIAは韓国政府の肝煎りで推進されている計画で，新たな科学と産業の町を建設し（つくば市のようなものか），その目玉として重イオン加速器を建設するという，総予算が330億円にも上る大型計画である．様々な用途に応じたビームラインの設計を行っているところで，衝突させることも出来るようである．課題は，設計作業を推進する加速器の専門家が少ないところにあるようである．

図1　まるで美術館かと見紛うような会場

初日の午後は各研究所から空洞性能試験の最新結果とクライオモジュール試験の結果が報告された．Lバンドの超伝導空洞の性能試験は，主にDESY，FNAL，J-Lab，KEKの4ヶ所で精力的に行われている．DESYでは8台のlarge grain空洞を用いた試験を行っており，化学研磨を行った方法では30 MV/mに満たない結果に終わっている．この後，電解研磨を用いた方法に変更して，全空洞の性能試験を再び行う予定のようである．FNALはANLと共同で空洞の表面処理及び性能試験を行っており，順調に月間の測定回数が増えてい

図2　参加者の集合写真（ミラノ大学構内にて）

るようである．空洞製造メーカーは AES 社以外に最近 Niowave-Roark 社も加わり，製造能力が徐々に高まってきているように見える（将来的にはカナダにある PAVAC 社も参入予定である，とのこと）．最近注目を集めるようになったトピックとしては，性能試験中に放射線量が突然爆発的に増加し，性能が劣化してしまう現象が FNAL と KEK から報告された．これは，ある勾配まではスムーズに到達するものの，そこに到達した途端に突然放射線量が増え，Q 値も劣化してしまい，以後は二度と性能が回復しない，という場合があるという現象である．性能試験後に空洞内を光学カメラで調べてみると，アイリス（セル間の結合部）の溶接個所に問題があることが判明しており，これが引き金となって起こっているようである．KEK からは，昨年末に国内のメーカーの空洞性能が初めて ILC の要求スペックに到達したが，今年に入って測定された新規の空洞の性能は仕様を満足しておらず，依然として原因追究を行っているところ，という報告がなされた．クライオモジュール試験に関しては，昨年から今年にかけて KEK の STF で行われていた S1-Global 実験の結果が報告された．この実験の主な目的の一つは，各研究所にて採用されているチューナーシステムの比較であり，Rocco Paparella 氏によって 3 種類のチューナー（ブレードチューナー，サクレーチューナー，スライドジャックチューナー）の特性とその実験結果が簡潔にまとめられ，非常に良い報告であった．KEK 以外では，FNAL と DESY からそれぞれのクライオモジュール試験の最新結果が報告されていた．DESY では XFEL 建設時の大量生産に向けた R&D の一環として PXFEL と称される 3 台のクライオモジュールを製作し，性能試験を行っていたが，いくつかの問題（たとえば，クライオモジュールへの組み込み後に性能が劣化してしまう空洞があること）が発生しており，大量生産の安定化に対してはまだ時間がかかりそうである．PXFEL2 と呼ばれるクライオモジュールを用いた組み立ての練習も CEA-Saclay で行われており，今後このモジュールは DESY と CEA-Saclay の間を何度も往復し，XFEL に向けた一連の作業のケーススタディになるとのことである．FNAL からは Cryomodule-1 の実験報告があった．それによると，2K までの冷却は無事終了し，各空洞の性能試験及びローレンツ離調の測定を開始しているところである，とのことであった．

2 日目の午前中に E. ZANON 社の Giorgio Corniani 氏から XFEL に向けた取り組みについての紹介があり，大量生産時における空洞製造設備の改善案として，一度に複数個のセル溶接を行える新しい電子ビーム溶接機を導入する計画や空洞にヘリウムジャケットを溶接する際の治具の改良などを挙げていた．E. ZANON 社は従業員が 140 人と比較的小規模ながら，空洞製造からクライオモジュール製作まで幅広く手掛けており，RI（Research Instruments）社と並んで XFEL 建設には不可欠なメーカーである．

Field emission に関する基礎的な研究に関しては Günter Müller 氏の報告が興味深かった．Field Emission Scanning Microscope なる装置を用いて，化学研磨や高圧水洗が行われた後のニオブの試料に対して直流電場を印加しながら emitter の分布を調べている．また，観測された emitter に関して SEM/EDX を用いてサイズ測定や成分分析なども行っており，詳細な研究を行っているようである．同氏はこの発表とは別にニオブ材の表面粗さに関する研究報告も行っており，それも興味深い内容であった．

新規 ERL 計画に関しては，コーネル大学が研究・開発をかなり進めており，入射部に関してはすでに 25 mA のビーム運転まで達成している．Matthias Liepe 氏の発表によると，主加速部のクライオモジュールの設計が進行中で，アライメント誤差による影響，磁気シールドの遮蔽効果，冷凍機負荷の見積もり，なども同様に検討している．また，入射器用クライオモジュールを用いて microphonics や機械振動の測定も精力的に行っている．周波数調整機構にはブレードチューナーを用いている．

Low-beta 空洞に関しては Guillaume Olry 氏による SPIRAL-2 計画の進捗状況の報告が興味深かった．粒子速度（v/c）に応じて 2 種類のクライオモジュールを配置し，$\lambda/4$ 共振器タイプの空洞が用いられる．表面処理工程には化学研磨が，その後の洗浄工程には高圧水洗が採用されているが，形状が複雑のため複数回の工程に分けないとうまく行えない，といった L バンド空洞とは別の特有の問題があるようである．空洞内面に高圧水洗中に出来たと思われるダメージがいくつか見つかっており，まだ最適化の途上にあるように見える．

3. LASA 研究所訪問

TTC ミーティング終了後にミラノ郊外にある LASA（Laboratorio Acceleratori e Superconduttività Applicata）という加速器の研究所を訪問する機会を得た．この研究所では，かつて LEP（Large Electron-Positron collider）に用いられた 352 MHz の 4 連空洞の R&D が行われていたことがあり，入り口にそのプ

図 3　LEP に用いられた 352MHz の 4 連空洞のプロトタイプ．回転式温度マッピング装置が取り付けられている

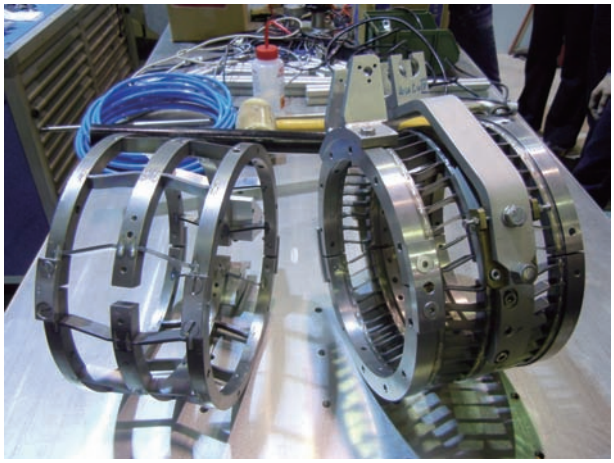

図 5　2 種類のブレードチューナー（左は 4 枚刃タイプで，右が 2 枚刃タイプ）

図 4　LASA 研究所にて Paolo Pierini 氏の説明を聞く面々

ロトタイプが展示されていた（**図 3**）．LEP で用いられていた空洞は銅にニオブをスパッタする方法で製作されていたが，プロトタイプは純ニオブ材で製作されていた．研究所内を案内して下さったのは Paolo Pierini 氏と Rocco Paparella 氏で，冷凍機設備，高圧水洗装置，空洞性能試験設備などの説明を受けた（**図 4**）．高加速勾配運転時に生じる空洞のローレンツ離調を補正するための周波数調整機構として INFN が採用しているブレードチューナーも見せていただいた．ブレードチューナーは研究・開発に 10 年以上の歴史があり，デザインも徐々に変更されている（**図 5**）．壁に貼られたポスターから初期設計より少なくとも 3 度の設計変更が行われたことが分かる．その他の研究活動としては 3.9 GHz の超伝導空洞の開発（XFEL の Third Harmonic Module として用いられる）や電子銃の開発なども行っているようである．

4.　おわりに

TTC ミーティングは議題が主に L バンドの超伝導空洞の研究・開発に絞られているため，XFEL, ILC, ERL 計画などに対する各研究所からの現状報告や課題などを把握するのに実に良い機会である．また，参加者がお互いに同じような研究を行っているため，細かいところまで説明する必要も無く議論が行いやすい環境にある．これに対して SRF は超伝導空洞に関する全ての話題を網羅しており，それぞれの内容を細かく理解するのは難しい．SRF の分科会のような位置づけが TTC ミーティングなのであろう．次回は今年の 12 月に中国の IHEP 主催で北京にて開催される予定である．また，今回のミーティングで JAEA の Yoshishige Yamazaki 氏から CEA-Saclay の Olivier Napoly 氏に議長職が引き継がれた．

参考文献

1）　URL:http://agenda.infn.it/conferenceDisplay.py?confId=3087