

会議報告

IWAA08 報告

菅原 龍平*

Report on IWAA08

Ryuhei SUGAHARA*

2008年2月11日(月)から15日(金)の一週間、IWAA08 (International Workshop on Accelerator Alignment 2008, 国際加速器アライメント研究会2008)を高エネルギー加速器研究機構(KEK)にて開催した。この研究会は、加速器のサーベイおよびアライメントに携わっている研究者が、2~3年に一度世界から集まって、各研究所の進捗状況の報告、加速器またはビームライン建設の報告、および新しい技術の研究開発の報告を行い、議論をする場である。1989年に米国SLACの呼びかけで始まったものであり、以来2~3年に一度、日本/アメリカ/ヨーロッパの3極の加速器を有する研究所が主催してきたものである。今回が第10回目となる。IWAA08国際組織委員会はCERN, DESY, ESRF, SLAC, FNAL, ANL, SPring-8 および KEK の代表者で組織された。国内実行委員会は松井(SPring-8)、野田(京都大学化学研究所)、山下(東京大学ICEPP)、熊田(放射線医学総合研究所)、春日、白形、増澤(以上KEK)の各氏に筆者(委員長)を加えて組織された。

毎回60~80人の出席者があるが、今回は昨年末のアメリカでの突然のILCを含む複数科学プロジェクトの予算の大幅なカット、およびイギリスでのILCを含む物理学・天文学関連の複数プロジェクトの予算打ち切り決定があり、参加を見合わせるケースや、参加登録のキャンセルが心配された。結局FNAL, Jefferson Lab および LBL からそれぞれ1人のキャンセルがあり、SLACからは3人のキャンセルがあった。英国からのキャンセルは1人だけであった。合計71名の参加者であり、まあまあの規模の研究会となり、主催者としては胸をなでおろしたところであった。地域別によると、日本26名、ヨーロッパ18名(うちロシアから1名)、北アメリカ16名(うち3名

がカナダから)、アジア8名(中国7名、韓国1名)、そしてオーストラリアから3名の参加であった。

通常、会期は月曜に参加登録をし、発表は火~木曜の3日間と金曜の半日であったが、これでは短いという前回SLACでの研究会における反省から、今回は日曜日に参加登録を行い、月~金曜までの4.5日を会期とした。このために時間割もゆったりととれて、自由討論の時間もたっぷりとれた。口頭発表、ポスター発表ともに、全体を以下の4つの項目に分類し、項目ごとにまとめて発表を行なうようにした。項目は

1. Status report from institutes/laboratories (5+1)
2. Report of survey and alignment (9+7)
3. Alignment instrumentation, software and methods (15+6)
4. Survey and alignment of instruments and detectors, GPS, and others (7+2)

最後の4番目の項目は、近年物理測定器のアライメントをやっている人達の参加が増えてきたことを反映している。括弧の中の数字は初めの数字が口頭発表の数、2番目の数字がポスター発表の数である。プログラムおよび発表の概要については、以下の研究会ホームページを参照して頂きたい。

<http://www-conf.kek.jp/iwaa08/index.html>

初日の月曜日は黒川氏の歓迎の挨拶から始まり、午前中に2つの特別講演、午後には各研究所の進捗状況の報告があった。黒川氏からはKEKの紹介と共に、PAC(米国)、EPAC(ヨーロッパ)、APAC(アジア)という世界の3つの加速器研究会が一つにまとまり、その第1回目の研究会IPAC10(International Particle Accelerator Conference 2010)が2010年に京都で開かれることが紹介された。組織委員長は黒川

* 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設
(E-mail: sugahara@post.kek.jp)

氏. 特別講演の1番目は“The earth tide and measurement of distortion of the earth’s crust”という演題で, 国立天文台水沢観測所の田村氏が, 地球潮汐の話をつかり易く, 詳しく話された. 彼らは電波望遠鏡で星を観測しているわけであるが, この観測のためには, 遠く (1,000~2,000 km) 離れた2つの望遠鏡の相対位置が10 mm程度の精度で分かっていないといけない. そのために, 地表の変位・変動を知る必要があって, そういった研究をしている, とのことであった. 地表の変位・変動の原因としては影響の大きな順に地球潮汐, 海の潮汐, 気圧の変動, 地盤プレートの動き, 地震による残変位, 地盤の超低速振動 (周期1ヶ月程度!), 地球表層の振動といったものが挙げられる. 広い範囲が上下するので気がつかないが, 地球潮汐では鉛直方向に300 mm程度, 海の干満では50 mm程度, 気圧の変動では5 mm程度の変位があるとのこと. 他に地球潮汐の測定方法や, 地球表面の振動について詳しい説明があった. 近年, 地球潮汐や台風通過の際の気圧変動による加速器リングの周長の変化が話題になっていること, ILCサイト選定に当たって地盤の変動が研究されていること, などがあって, かなりの人がこの講演に興味深く聞き, 熱心な質問があった.

2番目の特別講演は“GPS Earth Observation Network System (GEONET)”と題して, 国土地理院測地観測センター地震調査官, 中川弘之氏がGPS (Global Positioning System) およびGPSを使った日本での電子基準点網について講演された. 従来, 加速器建設における地表の第一基準点は, 測距儀または測距儀とセオドライトの組み合わせを使った三角測量で決められていた. しかし近年加速器が大規模になり, 敷地全体を直接見通すことが難しくなり, 近年発達してきたGPS技術を使うことが検討されるようになってきた. このような事情のために, 今回の中川氏の講演はタイムリーであった. 現在日本には約10万点の測量三角点が網羅されているが, 近年GPSを使った電子基準点も網羅されており, 約20 km間隔で日本全国で約12,000点がある, とのことであった. GPSは1測定器を使ってその座標を求める方法と2ないしはそれ以上の測定器を使って相対距離を求める方法がある. 近年普及してきたカーナビが1測定器法であり, その精度は10 m程度である. 相対距離を求める方法では現在その精度が5 mm程度とのこと. この5 mmの精度について, これを更に向上するための方策について熱心な議論があった. 金曜日にもSPring-8の松井がGPSを実際に使った経験から, その精度

に関する検討結果を報告した.

研究所の進捗状況および測量・アライメントの報告では, CERNのLHCを初め, 我が国のJ-PARC, 北京のBEPCHIIそして上海のSSRF放射光リングの建設が完成もしくは完成真近かで, いずれも今年ビームコミッショニングを向かえようとしており, これらの建設現場からの報告があった. この中でもLHCは, 周長27 kmのリングトンネルに約2,000本の超伝導電磁石を組み込んだ大規模なものであり, そのアライメントの報告が印象的であった. この周長は, 現在検討が進んでいるILCの第一期計画での長さ30 kmに匹敵するものであり, ILC建設を検討する上で参考になる点が多々ある. LHCは以前の電子・陽電子コライダーLEPを陽子・陽子コライダーに作りなおすものである. 基準点としてLEPの四極電磁石の位置を使ったとのこと. この基準点を使いながら, 高さはアナログのレベル望遠鏡で視準し, 水平位置はトータルステーション (TDA5005) と伸張ワイヤー (stretched wire) を使ってアライメントしたとのことである. 目標とするアライメント精度は1セクション (1/8リング) で相対位置の誤差で垂直方向が0.15 mm, 水平方向に0.25 mmであった. 特徴的なのは, 水平位置を出すのに伸張ワイヤーを使っていることである. これは約120 mの非金属ワイヤーを使い, 2点の基準点を結び, このワイヤーからのオフセットをマイクロメーター付きの顕微鏡で測ることによって水平位置を求めている. 精度は50 μm 程度が出ているとのことであった. また, アライメント時にはアナログレベルを使い, 測量にはデジタルレベルを使っていた. デジタルレベルはその精度が測量者の質に依らないこと, スイッチを押せば測量してくれる, などという利点がある一方, 測定に2~3秒かかるので, 時々刻々位置誤差を教えて欲しいアライメントには向いていないことは, 我々も感じていた. アライメントは初期アライメントをスムージングすることによって, 最終精度を出すものであるが, このスムージングにはPlaneと呼ばれるソフトウェアを使っており, その原理についても説明があった. J-PARCからはリニアック (森下), 3 GeV RCS (谷), 50 GeV主リングについて, それぞれ報告があった. 特に主リングについては, 白形から軟弱地盤のための苦勞が報告され, 聴衆の興味を引いていた.

以上の4加速リングの他に, DESYのXFEL, SLACのLCLS, SPring-8のXFEL beam line (木村, C. Zhang) に関する報告があった. いずれも自由電子レーザーを使った放射光施設であり, 建設中のもの

である。興味を引いたのは、DESYのXFELの電磁石類は全て天井から吊るすのだそうである。床置きよりもトンネルの振動を増幅し易いような気がするが、彼らは大丈夫だと言っていた。また、SPRING-8のXFELでは、18台のundulator(1台約5m長、全長約120m)を使うが、この10 μm 程度の精密アライメントにX線を使うことを検討している。当初、新竹はレーザー光と小孔によるアライメントを考えたが、120mの距離を平行ビームでレーザーを通すため、小孔の直径は5mm程度になってしまう。小さな平行ビームにするには波長を短くすればよいので、レーザー光の代わりにX線を使えばよい。このアイデアは、前回のSLACでのIWAA04において、ANLのB. YangとH. Friedsamによって提案されている。SPRING-8のグループは、上流にWiggler電磁石を置いて、ここからのX線を使い、100 μm 直径の小孔を使うことを計画している。このときの分解能は10 μm ということである。

KEKの増澤は、KEKB富士テストビームライン(FTBL)の建設の報告をした。これはKEKBの富士直線部において、電子ビーム($E=8\text{ GeV}$)がビームパイプ中の残留ガスと反応し、制動輻射によって出てきた γ 線をタングステン製の標的に当てて電子・陽電子対を作り、この電子を富士実験ホールに導いて、測定器等のテストに使おうというものである。できるだけ短い距離の、できるだけ安いビームラインを作るといことで、3台の偏向電磁石以外は廃物利用またはKEKB用の予備の電磁石が使われた。補助電磁石は一切なく、8台の偏向電磁石と4台の四極電磁石から構成されている。偏向電磁石はビームをただ水平に曲げるのではなく、これを傾けて置くことにより、ビームを捻るようにして、斜め下に向かって曲げるようにビーム光学が設計されている。このことから、このビームラインはローラーコースター方式と呼ばれている。各電磁石はビーム軸回りの回転(rotation)のみならず、水平首振り(yawing)角、垂直首振り(pitching)角を持っている。大きいものでは40°近い回転角を持っている。このため短いビームラインとは言え、据え付け・アライメント作業は複雑で難しいものとなっている。増澤はこの難しい据え付け・アライメント作業をどのようにして実現していったかを詳細に報告した。幸い、2007年10月中旬に行われたテストビームランの最初のビームで、ビームは無事測定器テストエリアに到達した。

水曜日はILCセッションとして、ILCに関連した発表を集めた。午前の第1セッションは英国グルー

プが提唱しているレーザー干渉計を使ったアライメントシステムLiCAS(Linear Collider Alignment and Survey)の発表に当てられた。これはILCのような直線部のアライメントを目的とするもので、数台のcarと称する台車(1台1t程度の重さ)にレーザー光源、レーザー光方向制御のためのミラー系、CCDの受光部を備えており、壁に取り付けたミラー標的を1台のcarの6点からその距離を正確に測る。car同志もレーザー光が貫いており、各carの直線からのズレを測っている。この数台のcarの連結をtrainと称している。測定をオーバーラップさせながらtrainを通路に沿ってずらしてゆき、壁の標的の直線からのズレを測る、というものである。壁の標的の位置をこのようにして校正したあと、これを基準にして、通路反対側に設置された電磁石やRFキャビティの位置を測定する、というものである。精度としては0.2mm/600mを目指している。現在DESYのXFELラインでテスト中であり、今回このテスト結果についても報告があった。第2セッションは地盤変動の報告に当てられた。J. VolkはHLS(Hydraulic Leveling System, 水管レベル計)と振動計を使ったMINOSホール(TEVATRONリングから北東へ約800mの所にある地下100mのMINOSニュートリノ振動実験のための前置検出器用ホール)での測定結果およびMINOSホールから南東へ6kmの所にあるLaFrange鉱山でのHLSを使った地盤変動の測定結果を報告した。菅原は日本のいろいろな地質での地盤常微動測定の報告を、白形はJ-PARC主リングの位置変動の報告をした。菅原はSPRING-8での測定時に観測した地震による揺れで、地盤(岩盤、盛り土および表土)によって揺れの振幅が2~5倍違うことを示した。午後は山本(明)氏によるILC-GDE(Global Design Effort, ILC国際共同設計チーム)からの進捗状況の報告、久保(浄)氏によるビームシミュレーションを用いたアライメントに対する許容値の検討の報告をしてもらった。普段、GDE上層部およびビーム옵ティクス設計グループと直接話をする機会があまりないため、この報告は歓迎され、有意義であったとのコメントをもらった。その後、ILCのアライメント法の候補として考えられているHLSシステムおよび伸張ワイヤー法についてのレビューを交えた開発の現状についての報告があった。HLSシステムについてはDESYのM. Schloesserが、伸張ワイヤー法についてはCERNのJ.-P. Quesnelが報告した。

木曜日の午前はソフトウェア開発の報告を2件した後、ポスターセッション、そして午後はJ-PARC

見学を行なった。金曜の午前は加速リングとは少し毛色の違った報告が4件集められた。ドイツの癌治療のためのガントリーの報告，LHCでの物理測定器ATLASの報告，SPring-8においてGPSとレーザー測距儀を比較した報告，FNALにおけるDESY製のXFEL用RF低温モジュールのアライメントの報告である。この後J.-P. Quesnelによるサマリートークがあって，会議は無事終了した。

以上，紙面の都合上，筆者の興味を引いた点を中心に研究会の一部をピックアップして報告した。他に日本からの報告としては，想田が京大・化研の陽子/重イオン蓄積リングを，KEKからの報告で，原田がPFリング直線部の改造を，佐藤(政則)がKEKB upgradeに伴うリニアックのレーザーアライメント系の改良を，大内がKEK-STFにおけるILC用超伝導キャビティのアライメントの報告をした。

ここで研究会での写真をいくつか紹介する。写真1は研究会出席者の集合写真である。写真2は13日(水)に行われた研究会晩餐会の際の出し物，津軽三味線の演奏のときの一シーンである。各エリア代表が出て，和太鼓の演奏にチャレンジしているところである。研究会バッグに筆ペンを入れておいたが，写真3は12日(火)の昼休みを利用して，この筆ペンを使った習字の講習会の模様である。大勢の人が出席し，本当に真剣に習字に取り組んでいたのには，主催者側でもびっくりしたほどであった。課外活動としては他に，同伴者用に東京観光バスツアー(火曜日)と結城紬体験ツアー(木曜日)を行なった。

筆者の全般的な印象を言わせて頂ければ，このところ世界中で新しい加速器リングおよびビームラインの建設が続き，このサーベイ・アライメントの業界は(現在のところ)活気がある。各研究所とも建設作業

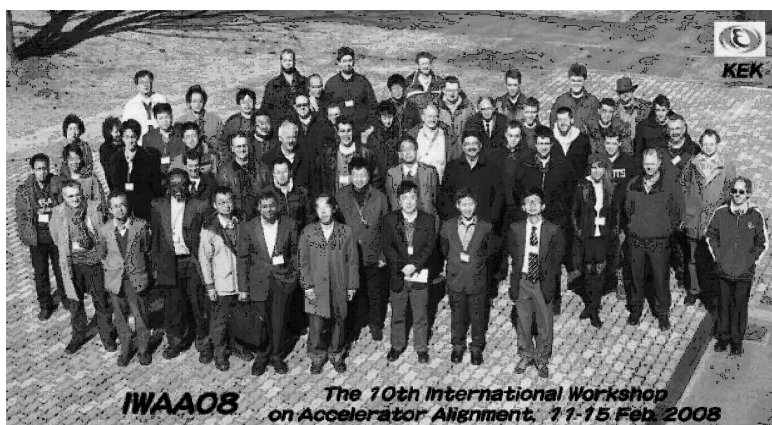


写真1 研究会出席者全員にて



写真2 晩餐会での一コマ



(a) 先生のお手本



(b) 真剣に習字に取り組む参加者



(c) 参加者の一人(勿論外国人)の達筆な作品

写真3 3 習字講習会での一コマ

のかたわら、ハードウェアおよびソフトウェアの研究・開発を活発にやっている。例えば、HLS システムを、今ではほとんどの研究所が持っており、あるところではこのシステムでリングの変位を常時モニターしたり、またあるところでは、このセンサーを自作して、より良いものを作ろうとしている。ひるがえって我が方を見ると、建設作業および機器のメンテナンスに追われ、予算・マンパワー・研究時間の不足もあって、こういった研究・開発がおろそかになっている。何とかこのような状況を打開せねばならないと、反省している。

ここで、次の IWAA 研究会は 2010 年秋に DESY において開催されることを申し添えておく。

事務的なことであるが、研究会参加費の早期払い込み割引のために、クレジットカード払いを採用した。クレジットカード会社の話では、つくば研究学園都市における研究会での利用実績はほとんどない、とのことであったが、説明を聞いて、利用することを決断し

た。大変便利なものであり、これからこのような研究会を主催する方にはお勧めしたいシステムである。

最後に、この研究会は財団法人つくば科学万博記念財団からの補助金を受け、運営費の一部に当てられた。企業展示においてはヘキサゴン・メトロジー(株)、TACC(株)、ファロー・ジャパン(株)、(株)ソキアの4社にご協力頂いた。J-PARC 見学においては白形氏、吉岡氏を中心にした J-PARC の方々のご協力をいただいた。ここに感謝致します。また、つくば市つくばコンベンションビューローを通して、7名のボランティアの方々にお手伝い頂いた。お礼申し上げます。習字の講習会を指導して下さった人事労務課の高畑さんにもお礼申し上げます。本会議の運営に当たっては増澤、川本、大澤各氏を中心にした KEKB 電磁石グループの方々、KEK 加速器研究施設事務、機械工学センターの久米氏、ATF 秘書の池田さん、SKS の加藤氏、高橋さんの献身的なご協力を頂いた。ここに深く感謝致します。