

# 日中拠点大学交流事業中間評価報告

電子加速器における  
加速器、高エネルギー物理学と放射光科学の研究

平成 16 年 9 月 22 日

日中拠点大学交流事業中間評価委員会

# 日中拠点大学交流事業中間評価報告

日中拠点大学交流事業中間評価委員会

## 要 約

加速器科学分野における日中拠点大学交流事業は、「電子加速器における加速器、高エネルギー物理学と放射光科学の研究」を研究テーマとし、2000 年から 10 ケ年計画として始められた。最初の 5 ケ年を経過した現時点において既に画期的な成果を上げ、研究支援・技術提供型交流から相互互惠型交流に向けての着実な進歩が見られる。次期 5 ケ年実施計画についても明るい見通しが得られ、事業として順調に進展していることを委員会は評価し祝福する。

### 主な成果

#### 加速器科学

- 高エネルギー加速器研究機構 B ファクトリー加速器は、2003 年 5 月に加速器史上最高の輝度を達成した。電子雲によるビーム不安定性の共同研究が大きく貢献している。
- 超伝導加速空洞技術、制御システム EPICS、試験加速器 ATF における共同研究等。

#### 高エネルギー実験

- Belle 国際共同実験による B メソン崩壊での CP の破れの発見は、小林 - 益川モデルの正しいことを証明し、素粒子物理 30 年来の未解決問題に決着を付けた。
- BEPC データに基づく QCD 低エネルギーカイラル理論の精密化、ワークショップ、セミナーを通じてのアジアの高エネルギー物理学将来計画 GLC や、超長基線ニュートリノ振動将来計画の共同作業等。

#### 放射光科学

- 北京放射光施設 (BSRF) における硬 X 線源の実現、蛋白質構造解析 /XAFS などのビームライン設置により、SARS ウィルス構造解明等の成果に結びつけた。
- 中国科学技術大学放射光施設 (NSRL) の改良及び広島大学放射光科学研究センター (HiSOR) 実験等での共同研究。
- 上海放射光施設 (SSRF) 加速器とビームライン設置 R&D の共同研究。

### 提 言

- 相互互惠型交流に向けて一層の努力をすべきである。
- 上海放射光施設 (SSRF) の建設とその利用研究の策定にあたっては、より密接な共同研究をすべきである。
- 事業対象国を、韓国、インドなどを含むアジア諸国に広げるべきである。
- プログラム対象をハドロン加速器 (J-PARC) 等にも広げるべきである。拡張に際しては慎重な検討の上、相手国のニーズに応じ、効率よい事業が実行できる可能性の高い領域に的を絞り順次広げて行くのがよいと思われる。
- 幅広い参加協力大学からの若手研究者の活用をより一層促進すべきである。
- 日中両地域に分断されがちな研究活動の一体化へ向けた環境整備の努力を心がけるべきである。
- ワークショップやサマースクール等への若手研究者の参加の機会を増やすと共に、長期滞在を可能にする方策実現へ向けて一層の努力をすべきである。

# 目 次

<b>1 はじめに</b>	<b>3</b>
<b>2 日中拠点大学交流事業の概要</b>	<b>3</b>
2.1 拠点大学交流事業	3
2.2 歴史的背景	4
2.3 電子加速器分野における拠点大学交流事業の内容	4
<b>3 中国の状況</b>	<b>4</b>
3.1 科学研究政策	4
3.2 関係者の意見	5
<b>4 第一期5カ年における成果と評価</b>	<b>6</b>
4.1 概 観	6
4.2 加速器科学	9
4.2.1 A1: 電子加速器に必要な超伝導・低温技術に関する研究	9
4.2.2 A2: 電子加速器におけるビーム不安定性の研究	9
4.2.3 A3: GLC 建設のための加速器に関する共同研究	10
4.2.4 A4: EPICS 共同開発研究	11
4.3 高エネルギー物理学	11
4.3.1 B1: GLC 実験のための物理及び測定器研究	11
4.3.2 B2: Belle 実験	12
4.3.3 B3: コライダーの物理と素粒子論	13
4.3.4 B4: BES 実験	14
4.4 放射光科学	14
4.4.1 C1: 既設放射光施設の光源用加速器、ビームライン高度化に関する共同研究	14
4.4.2 C2: SSRF 加速器とビームラインの R & D に関する共同研究	16
<b>5 委員会の意見</b>	<b>17</b>
<b>6 まとめ</b>	<b>18</b>
<b>7 補足資料</b>	<b>20</b>
I 評価委員会構成メンバーリスト	20
II 評価委員会議事日程	20
III 日中拠点大学交流事業（加速器科学分野）研究計画委員会規程	21
IV 日中拠点大学交流事業（加速器科学分野）研究計画委員会委員リスト	22
V 日中拠点大学交流事業（加速器科学分野）評価委員会の組織運営等に関する要項	23
VI 日中拠点大学交流事業参加グループリスト	24
VII 用語解説	25
VIII 出版リスト	27

## 1 はじめに

「加速器科学分野」における日中拠点大学交流事業（以下「拠点事業」という。）は、「電子加速器における加速器、高エネルギー物理学と放射光科学の研究」を研究テーマとし、2000年から10ヶ年計画として始められた。第一期5カ年を終え第二期に進むにあたり、最初の5カ年の事業成果を総括し中間評価を行うために本評価委員会が組織された。評価委員会の母体は、日本側拠点大学高エネルギー加速器研究機構（KEK）の下にある「日中拠点大学交流事業（加速器科学分野）研究計画委員会」であり、評価委員会構成メンバーは、太田俊明（東京大学；放射光科学）、辻村達哉（共同通信）、長島順清（大阪大学；高エネルギー物理学、委員長）、野田 章（京都大学；加速器科学）の4名である。したがって本報告は外部評価という位置付けを持つ。

第1回委員会を2004年5月27日 KEK において開催、交流事業概要の説明を受けるとともに今後の方針を議論した。次いで6月16-20日にかけて中国を訪問し、中国側における事業実施状況を視察した。中国国家自然科学基金委員会（NSFC）主任 陈佳洱（Chen Jiaer）氏、中国科学院（CAS）国際協力担当 邱华盛（Qiu Hua-Sheng）氏と懇談して中国における自然科学研究の現状について説明を受けた上で、中国科学院高能物理研究所（IHEP）及び上海応用物理研究所（SINAP）を訪問、施設を視察するとともに中国側研究者による成果報告の説明を受けた。最後に第4回委員会を8月11-12日 KEK において開催し、日本側研究者報告と配布資料に基づき本報告書を作成した。

## 2 日中拠点大学交流事業の概要

### 2.1 拠点大学交流事業

加速器科学における日中拠点大学交流事業は、日本学術振興会（JSPS）と中国科学院（CAS）との覚書に基づき、日中の研究者による共同研究及び学術セミナーを支援するものである。研究テーマ「電子加速器における加速器、高エネルギー物理学と放射光科学の研究」に基づくプロジェクトは、2000年から10カ年計画として始められた。電子加速器と電子加速器を用いる研究の最近の進歩には目覚ましいものがあり、アジア地域では日本に次いで中国で最も進んだ研究が行われていて、インド、韓国、台湾、タイ、ベトナムなどが続く。この拠点事業の目的は、主として日本と中国を中心とした研究機関で人と知識の交流を進め、共同研究を推進することによりアジア地域全体での加速器科学分野の向上を目指すことであり、その目標として

- [1] 中国の加速器科学の発展に対する貢献
- [2] KEKBを始めとする日本の加速器の性能向上
- [3] 高エネルギー物理学将来計画 GLC（Global Linear Collider）の実現に向けたアジア地域の国際協力体制の確立を掲げる。

拠点事業の日本側の拠点大学は大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構（KEK）、中国側の拠点大学は中国科学院高能物理研究所（IHEP）であり、両拠点を通じた日中両国の参加機関リスト及び組織体制を付録 VI に掲げる。

## 2.2 歴史的背景

高エネルギー加速器科学における中国との交流は 1970 年代、文部省高エネルギー物理学研究所（KEK: 高エネルギー加速器研究機構の前身）と中国科学院高能物理研究所（IHEP）との間で始まり、80 年代には IHEP の BEPC 加速器（高能物理研究所 電子・陽電子衝突型加速器）への日本側からの建設協力と、KEK のトリスタンを用いた実験グループ AMY への中国からの参加によって、両機関の交流は飛躍的に進展した。1994 年には、両研究所間で学術交流協定が締結されて恒常的な研究者交流が行われるようになり、以降毎年会合を開き両研究所における共同研究活動の報告並びに今後の進め方等について検討を行っている。

一方、放射光科学分野における交流として、上海応用物理研究所（SINAP）と学術交流協定を締結し、同分野における国際協力を強力に推進してきた。日中拠点大学交流事業はこれらの歴史的交流実績を踏まえ、さらなる発展を目指した国際協力事業の展開として位置付けられる。

## 2.3 電子加速器分野における拠点大学交流事業の内容

本拠点事業の対象とする電子加速器を用いた研究は、物質の究極の構成要素と構成要素間に働く力を研究する学問である高エネルギー（素粒子）物理学と、電子加速器から発生する放射光を用いて、物質や生命現象を原子や分子のレベルで研究する放射光科学、及びそれら目的達成のための加速器技術の性能向上の三つに大別される。高エネルギー物理学の最先端の研究においては、高いエネルギーまで加速された電子とその反粒子である陽電子を正面衝突させる電子・陽電子衝突型加速器が用いられ、衝突点に設置する汎用大型測定器を数百（～ 300）人規模の国際共同研究チームが共同建設して、共同で長期間（5 ～ 10 年）にわたりデータを取得、解析を行う。一方、放射光実験においては、円形の貯蔵リングを設け、多様な研究目的に応じた多数のビームラインを建設し、比較的少人数（数人）ではあるが多数のグループが短期間（数日）にデータ取得を行うという研究スタイルの相違があり、交流事業の進め方も異なる。

この事業における過去 5 年間の交流の主たる実施形態は、研究者交流（日中相互の拠点大学、協力大学における共同研究）及びセミナーの開催であり、共同研究課題としては次のテーマが取り上げられた。

- 高エネルギー加速器分野： 高能物理研究所の加速器 BEPC の高度化、BEPCII の設計と R & D（研究開発）、高エネルギー加速器研究機構の加速器 KEKB の高度化
- 高エネルギー物理学分野： BEPC における物理実験、KEKB における物理実験、次期線形加速器 GLC のための加速器に関する共同開発、GLC における物理と測定器の開発
- 放射光加速器分野： 中国科学技術大学放射光施設（NSRL）の加速器本体、ビームライン及び測定器の高度化、上海応用物理研究所（SINAP）の次期放射光計画（SSRF）の R & D と性能確保、FEL（自由電子レーザー）の R & D、加速器制御用ソフトウェア EPICS の共同開発
- 放射光実験分野： 広島大学放射光科学研究センターリング（HiSOR）、KEK 放射光科学研究施設（PF）における放射光実験



### 3 中国の状況

#### 3.1 科学研究政策

建国以来、中国の科学・技術政策は冷戦を背景に航空宇宙技術や核兵器の開発など国防分野を重視してきた。文化大革命（1966-76）では研究者が迫害され、科学・技術研究は停滞した。その状況は70年代末、鄧小平副首相（当時）が提唱した「4つの近代化」によって一変した。科学は将来の発展計画の主要な推進力として見直され、重点的研究分野としてコンピューター技術や宇宙科学などが指定された。

80年代半ば以降、経済発展を支えるための新しい研究体制づくりが進められ、農業技術や軽工業の振興を図る「星火計画」(Spark program)、ハイテク分野の「863計画」などの国家プロジェクトが次々と始まった。86年には研究者の自由な発想に基づく研究を支援する中国国家自然科学基金委員会（NSFC）が設立された。91年からは各分野の基礎研究で世界の最先端に追いつくための「攀登計画」(Climbing Program)も始まった。

現在は、代表的理工系大学である清華大を卒業した胡錦濤国家主席のリードで「科学技術・教育による国家振興の発展戦略」(科教興国)をスローガンに、科学技術立国を目指しており、2020年の国内総生産（GDP）を2000年の4倍増にするという国家目標を達成する原動力として科学・技術を位置付けている。第9次5カ年計画で2670億元だった研究開発投資額は、第10次5カ年計画（2001-05）では6000億－7000億元となる見通しである。研究開発費総額は対GDP比で約1%となる<sup>1</sup>。ただし産業化のための研究開発が大部分を占めており、次世代の科学・技術の「芽」を生み出す基礎科学への投資は全体の5%余りと、ほぼ横ばい状態が続いている。NSFCの研究投資でも基礎科学は全体の約20%にとどまっており、これをどう増やすかが課題になっているという。

02年には5カ年計画とは別に「国家中長期科学技術発展計画」(06-20)を制定することが決まった。03年6月から温家宝首相をトップとする「国家中長期科学技術発展計画指導小組」が素案作成を進めている。

#### 3.2 関係者の意見

評価委員会は中国側拠点であるIHEPの上部機関、中国科学院（CAS）と中国国家自然科学基金委員会（NSFC）の関係者にインタビューし、本事業の位置付け、評価、要望などを聴いた。以下に懇談内容と委員会の考えをまとめる。

##### 日中交流と他国交流の比較

**ドイツ：** ドイツは90年代から中国との学術交流を重ねており、最近では若手研究者の交流を促進するため、ドイツ研究協議会とNSFCが共同で北京に研究センターを設立した。ラウ大統領が昨年訪中し、同センターで開かれた討論会に出席するなど学術交流に積極的な姿勢を印象づけたという。

**フランス：** フランスのパスツール研究所はCASの協力を得て、04年中に上海に新たな研究所を開設する。胡主席がフランスを訪問した際に政府間で合意した交流拡大の一環で、外国と共同で新しい研究所を開設したいというCAS側の要望にも即しており、順調に準備作業が進んでいるようだ。2003年の新型肺炎（SARS）発生の際、パスツール研究所が対策支援のため、いち早く専門家を派遣したことも実現を加速した一因とされる。

**日本：** ドイツやフランスとの交流事業が与える華やかな印象に比べ、日本との交流事業が与える印象は地味である。日中共同のプロジェクトは、数が多いが規模が小さく、世界的影響力のある研究成果が

<sup>1</sup> 日本は総額で対GDP比3.35%。自然科学に絞ると同3.08%。

少ないと考えているようだ。

これは中国政府全体の日本に対する一般的評価が近年、急速に低下しているという事情と関連していると思われる。例えば、科学技術部（日本の省に相当）で最近、日本担当の部署がアジア・アフリカ担当の部署に統合されるなど、行政レベルでは学術交流における日本とのチャンネルが狭まる傾向にある。

素粒子物理実験でも中国は欧州の合同原子核研究機関（CERN）で準備中の LHC 実験に最も力を注いでおり、その次が日米 2 つの B ファクトリー実験という序列になっている。中国側の日本との交流チャンネルをこれ以上狭めないためにも、政府上層部や両国民にうまくアピールする方策が本事業にも求められていると考える。

**日本に対する要望** 中国側の日本に対する不満の一つとして「日本で学んだ留学生があまり活躍していない」という指摘があった。留学しても日本の大学で教授になったり、国立の研究所で主任研究員になったりしている例が少なく、研究リーダーとしての経験を積んでいないので帰国してもポストがない。このため学生が日本に行きたがらないという悪循環に陥っているという。

日本の国立大学や国立研究所の法人化によって外国人研究者の受け入れが進み、このような状況が改善されるのではないかという期待が中国側に高まっており、本事業が何らかの形で事態の改善に資することを期待したい。

とは言え、日本は隣国であり、中国にはない良質な研究施設・設備を数多く持ち、2000 年以降ノーベル賞を 4 人が受賞するなど研究水準も高いことから、一層の関係強化を望む声は強い。本事業の今後の展開については、特にサマースクールの開催など若い学生同士の交流拡大を求める意見が多かった。中国側には北京大や清華大の成績優秀な大学院生を 2-3 年間、海外で学ばせる政府留学制度があり、そうした学生を本事業で受け入れることも望ましい。

**拠点事業の評価** 本事業に対する評価は非常に高かった。特筆すべき成果として、KEK の Belle 実験に IHEP の科学者が参加し、世界的に注目される結果を出していることが指摘された。BEPC の性能向上のための KEK の協力についても深く感謝された。

本事業の交流の枠組みを韓国やインドに拡大することについては、おおむね賛意が示された半面、「中国のシェアが減るのではないか」「形式的交流になって効率が低下するのではないか」といった懸念も示された。中国側はアジアの特色を打ち出した国際プロジェクトを日中共同で進めたいという希望を持っており、拡大した拠点大学交流事業がそれに応えられる可能性を秘めている点は理解しているようだった。事業の拡大にあたっては中国側の疑念を払しょくするよう、きめ細かな説明と配慮が必要であると考ええる。

## 4 第一期 5 力年における成果と評価

### 4.1 概 観

**電子加速器に関する共同研究** KEK の B ファクトリー KEKB 加速器は、2003 年 5 月に加速器史上最高の輝度 ( $10^{34}/\text{cm}^2/\text{s}$ ) を達成し、現在も日々世界記録を塗り替えているが、そこには多くの中国人研究者及び高能物理研究所における共同研究成果の寄与があったことを特筆する必要がある。高輝度電子加速器実現のための障害となる電子雲不安定性の研究が日中共同で継続的に行われ、この現象が陽電子を蓄積する円形加速器において非常に発生しやすいことが、高能物理研究所（IHEP）の BEPC 加速器を使って確認された。弱い磁場をビームと平行にかけること（ソレノイド磁場）により、電子雲不安定性



を有効に抑制できると見極めたことは特筆すべき大きな成果である。

2003 年からは IHEP において、BEPC を BEPCII（2 リング型の電子・陽電子衝突型加速器タウチャーム・ファクトリー）に増強する計画が始まっており、超伝導加速空洞の開発をはじめとする種々の共同研究が進行中である。また、KEK における ATF（Accelerator Test Facility）では世界最小のエミッタンス（ビーム収束）を達成した。

**素粒子物理学に関する共同研究** KEKB ファクトリーの測定器 Belle は、2001 年に B メソン崩壊における CP の破れを検証し小林・益川モデルの正しいことを証明した。この成果は、30 年に亘る素粒子物理学の論争に決着を付けた大成果である。この実験・研究には大学院学生を含む多くの中国人研究者を始めとするアジア人研究者の寄与が大きい。

さらに中国グループは Belle 実験において独自のテーマをも追求すると共に既に 2 編の博士論文を提出した。この他、QCD カイラル理論の検証やリニアコライダーの測定器開発及び理論的研究に関しても研究交流が進められ多くの成果を上げた。

**放射光科学に関する共同研究** 高能物理研究所（IHEP）の放射光施設 BSRF に KEK で開発された真空封止型マルチポールウィグラーを導入し、強力な X 線源を作った。この結果として蛋白質構造解析用ビームラインで、SARS ウィルスの構造解析という成果につながったことは共同研究の大きな成果である。中国の放射光研究者と KEK 放射光研究施設（PF）及び広島大学放射光科学研究センター（HiSOR）等の日本国内放射光施設研究者の間で活発な研究交流が行われてきた。また、中国において 2004 年初頭に建設開始が承認された第三世代放射光加速器である上海放射光施設（SSRF）の加速器及びビームラインに関して共同研究が進行中であり、今後さらに活発な交流が期待される。

**活動実績の統計資料** 図 1 に研究者交流実績表、図 2 に予算執行実績額表を、図 3 にプロジェクト別予算執行実績額表を示す。

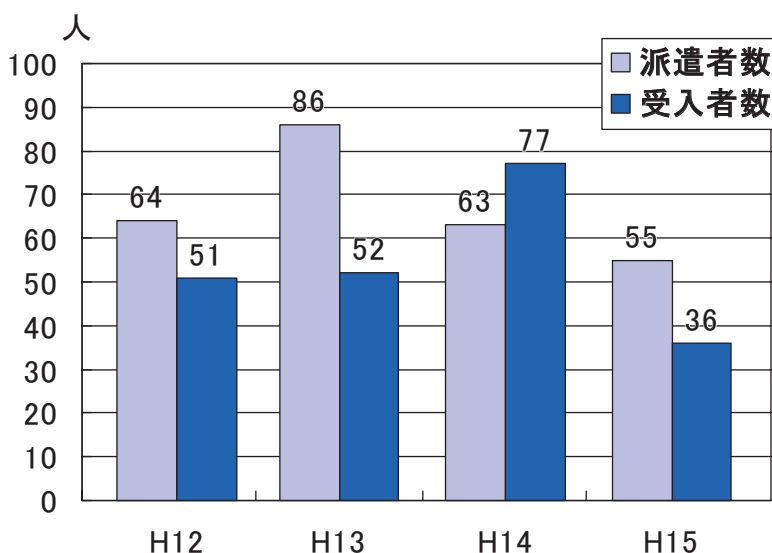


図 1：日中拠点大学交流事業：研究者交流実績表

## 日中拠点大学交流実績額表

	平成12年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度
予算額	25,000,000	29,200,000	31,295,000	29,990,000
研究者交流	3,116,500	2,739,840	2,443,730	6,404,366
共同研究	16,641,396	18,955,564	20,958,301	17,430,334
セミナー	4,785,705	7,182,866	7,483,403	5,988,013
その他	456,339	321,730	409,566	167,287

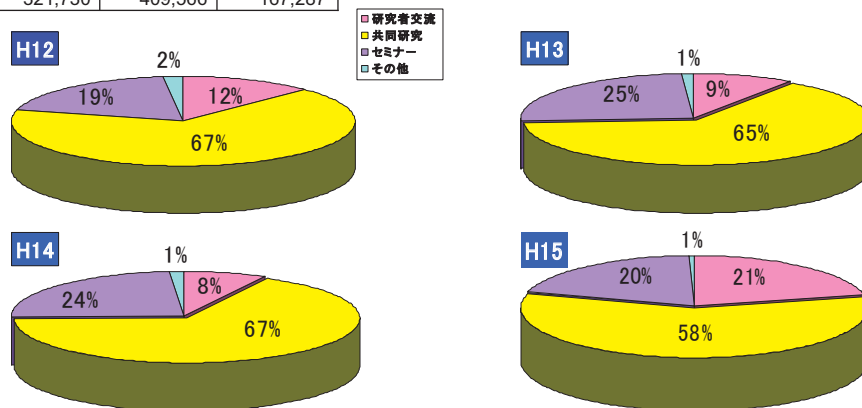
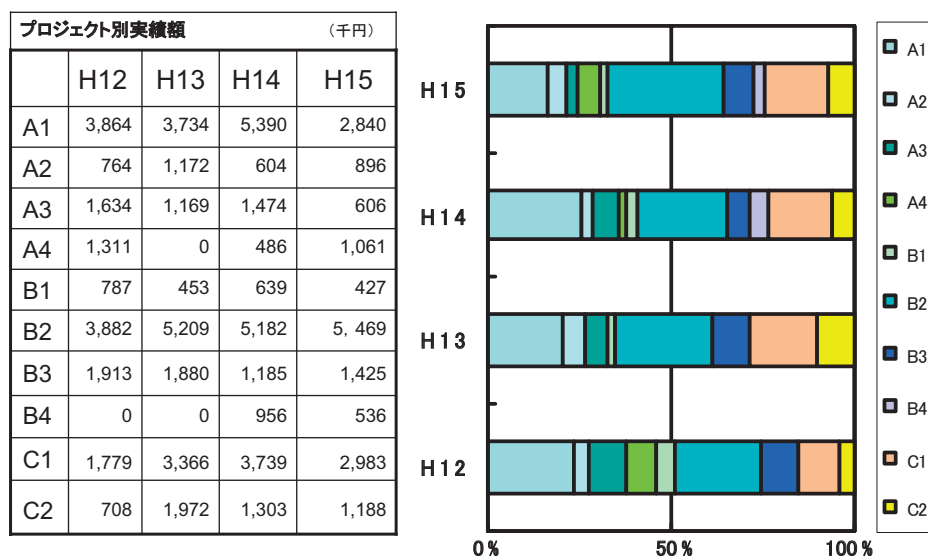


図2：日中拠点大学交流事業：予算執行実績額表

## プロジェクト別予算執行実績表



A1	電子加速器に必要な超伝導・低温技術に関する研究
A2	電子加速器におけるビーム不安定性の研究
A3	GLC 建設のための加速器に関する共同研究
A4	EPICS 共同開発研究
B1	電子陽電子リニアコライダー実験のための物理及び測定器研究
B2	Belle 実験
B3	コライダーの物理と素粒子論
B4	北京高能物理研究所電子・陽電子衝突スペクトロメータ (BES) J/Ψ 崩壊データの解析による中間子状態の系統的研究ーカイラル粒子探索ー
C1	既設シンクロトロン放射光源用加速器及びビームラインの高度化に関する共同研究
C2	SSRF 加速器とビームラインの R & D に関する共同研究

図3：日中拠点大学交流事業：プロジェクト別予算執行実績表

## 4.2 加速器科学

### 4.2.1 A1：電子加速器に必要な超伝導・低温技術に関する研究

超伝導機器の設置により KEKB の輝度が向上し、2001 年には輝度ピーク値が米国スタンフォード線形加速器センター (SLAC) の PEP-II をしのぎ、2002 年には積分値でも世界最高値を実現した。超伝導空洞を設置した HER (高エネルギー側リング) の蓄積電流は 2002 年に世界初の 1A を超える領域に達した。HER において超伝導空洞と常伝導空洞を併用していることは、PEP-II にはない KEKB の特長であり、放射損失を効率よく補う機能と大電流のビームの空洞に与える悪影響の最適化により、世界最高輝度の実現に大きく寄与した。

こうした超伝導技術は KEK の TRISTAN 加速器において実用化された技術の発展であるが、この技術を中国側の研究計画に活用する方策が本事業により展開された。具体的には高能物理研究所 (IHEP) のタウチャームファクトリー BEPC-II 計画の加速セクションに超伝導空洞を導入する方針のもとに、2005 年の設置を目指して、KEKB 方式の超伝導空洞の採用が決定された。また、本年に建設が認められた上海放射光施設 (SSRF) も真剣に超伝導空洞の導入を検討しており、超伝導の導入が決定されれば、そのタイプは BEPC-II 同様にコーネル型ではなく KEKB 方式が採用される可能性が高い。当初 ( $e^+$ ,  $e^-$ ,  $p$ ) の 3 リングを想定したトリスタンの影響で KEKB の RF (高周波周波数) は 509MHz であるが、IHEP、SSRF とともに放射光源リングの RF として標準的な 500MHz を採用するため、高周波源、ヘリウム冷凍機などを含んだ 500MHz 超伝導空洞システム全般にわたった設計と検討を共同で推進し、モデル空洞による実証試験を経て、急ピッチで BEPC-II にむけた建設が進んでいる。具体的には KEK から小型冷凍機の貸与を行い、これを用いた研究のための人的支援をこの拠点の事業として推進している。

これまでの経過を見る限り、本研究課題における共同研究の内実は KEK 側からの中国側への研究協力、研究支援といった色彩が強いことは否めないが、中国側も IHEP に超伝導空洞実験室を特設して主体的な取り組みを開始しつつあり、今後は本来の互惠型共同研究の比重が増大することを期待したい。また、放射光源のための RF として KEKB 方式が定着することにより、放射光の空洞で主導権を発揮できるという成果も日本側からは期待できる。これに関しては、日本も DESY が中心になって行っているような企業への技術移転を積極的に進め、この日中拠点事業の成果をアジア発の産業として世界に打ち出す可能性についての検討が望まれる。将来計画のリニアコライダー (LC) に関して、「LC 国際開発にあたって主線形加速器の基幹技術として COLD (超伝導) 技術を採用すべき」旨 ITRP (International Technology Recommendation Panel) から勧告がなされ、ICFA (加速器将来計画国際委員会) がこれを了承しており、本研究課題の重要性は今後一層高まると考えられる。

### 4.2.2 A2：電子加速器におけるビーム不安定性の研究

電子雲不安定性とは加速器の真空ダクト内に生ずる多数の電子 (電子雲) が正電荷を有するビームと相互作用してビームが不安定になり、ビーム振動やビームサイズの増大が起こる現象である。KEK と IHEP は 1996 年より BEPC を用いて、この現象の共同研究を主に科学研究費補助金により継続しており、本拠点事業においても、KEKB への適用を念頭に置き、この電子雲不安定性の最終的な確認が行われた。その主なものは BEPC での電子雲不安定性に関する実験であり、

- (a) 電子量及び電子のエネルギー分布の測定
- (b) ビーム不安定性の抑制方法

の探索が行われた。実験は年に1～2回のペースで行われ、毎回2名程度日本側から参加している。得られた成果としては

- (1) 50eV以下の低エネルギー電子が大部分を占める。
- (2) 静電電極及びソレノイド磁場による電子の除去がビーム不安定性の抑制に効果を発揮する。
- (3) クロマティシティーの増大がビーム不安定性の抑制に貢献する。

といった知見を得られたことが挙げられる。

こうした科学研究費補助金から拠点事業へと継続された共同研究の成果に基づき、KEKBではソレノイドの設置が行われ、ビーム不安定性を抑制して世界最大輝度の達成に大きな貢献を果たした。

本研究課題では、イオンによるビーム不安定性、ビームと真空ダクトの結合インピーダンスの評価、高周波高次モードに起因する結合バンチ効果、バンチ長伸張現象、衝突型加速器でのビーム・ビーム相互作用といった種々のビーム不安定性現象の研究も推進してきた。また、中国側のシミュレーションによる不安定性に対する理論的取り扱いも大きな評価を受けるに至っている。この拠点事業の成果はBEPCHの真空系の設計確定のための根拠となるデータを与えた点での貢献も大きなものがある。

本研究課題は、中国側の加速器施設を用いてビーム不安定性の抑制といった日本側の当面する切実な要求に対処するとともに、IHEPのBEPCHの性能向上にも大きく貢献した。また、現在、建設が進んでいるBEPCHにも電子雲対策の指針を与える上で大きく貢献しており、本来の意味での共同研究が展開されてきたと評価できる。

#### 4.2.3 A3：GLC建設のための加速器に関する共同研究

リニアコライダー建設のための先端加速器技術開発研究のため、

- (a) 高品質マルチバンチビームの生成
- (b) 高効率で安定なビーム加速と超低エミッタンスビームの実現を目的として、先端加速器技術の開発が行われてきた。具体的な共同研究のテーマとしては、
  - (1) マルチバンチBPM（ビームポジションモニター）の試作及び性能試験
  - (2) 超小型レーザーワイヤーの試作及び性能試験、並びにその上に立ったモニターの実用化とビーム物理学の研究
  - (3) 低エミッタンスのフォトカソードRFガンの開発

が挙げられる。中国側は、IHEPにおいて電子・陽電子衝突型加速器BEPCHのBEPCHへのアップグレードが進行中であるが、高品質大強度電子ビームの生成加速といったライナックに関する部分は、この研究課題においてKEKBのライナックグループが研究協力の形で貢献してきた。

IHEPのBEPCHは建設中のため、開発研究実験はKEKのATF（Accelerator Test Facility）で行われてきた。その主な成果としては以下のようなものが挙げられる。

- (1) 線形加速器のオペティックス調整によるATFへの入射効率改善、バンチ長測定技術と解析方法の発展
- (2) 非線形場中でのビームの応答性の高速（2.16MHz）、高精度（20 m）測定
- (3) ATFのMomentum Compaction Factorの測定
- (4) Beam Based Alignment（BBA）に向けた高精度ビーム軌道測定

- (5) GLC 用マルチバンチ電子ビーム生成のためのフォトカソード RF ガンの開発及び実用化 (100MV/m 以上の高電界を発生)

最後のフォトカソード RF ガン開発は IHEP の 30MeV 電子ライナックをベースとした赤外線 FEL 用のフォトカソード RF 電子源への応用に向けても協力して開発が進められている。

ストリークカメラ等の高度な技術の中国への輸出が規制されている等、政策面での制約もあるが、本研究課題も日本側が ATF で実現したレーザーワイヤー等の高度な計測技術を中国側に技術移転している感が強い。中国側は現在建設を進めているプロジェクトで手が一杯であり、GLC のような将来計画に取り込む余裕がない状況は理解できるが、今後、将来の発展も見通した組織的な取り組みが中国側でなされることを期待したい。

#### 4.2.4 A4：EPICS 共同開発研究

加速器技術の進歩に伴い、信頼性が高く維持の容易な制御システムを構築することが重要な課題となる。こうした目的のため EPICS の共同開発が 1990 年代から米国で開始され、KEK でも KEKB に採用された。本拠点事業では、アジア地域における EPICS 開発の推進を目的として、共同研究を展開してきた。具体的には、中国で計 4 回（高能物理研究所 IHEP 2 回、上海原子核研究所、中国科学技術大学放射光施設 (NSRL) 各 1 回）、日本で 1 回（総研大及び KEK）のセミナーを開催するとともに、中国からの研究者を招聘し、EPICS の共同開発を推進している。その結果、BEPCEE や SSRC の制御系に EPICS が採用されることとなり、アジアでの普及が進展しつつある。2000 年度に拠点事業費による支援を受けた韓国からの EPICS セミナー参加者が、2003 年度のセミナーにおいては講師を務め、韓国における次期加速器で EPICS を採用する直接の契機にもなるなど、アジア地域での EPICS の普及に着実に貢献している。また、EPICS では開発されたソフトの公開が行われているが、本拠点事業の共同研究における開発がこれに貢献を開始しつつある。

本研究課題も、当初は日本側からのエンジニアの教育といった支援的色彩が強かったと推察されるが、本拠点事業の開始後 5 年を経た現時点では、中国側の EPICS セミナー参加者の成長により、本来の共同研究のスタイルに近づく土壌が整ってきたと考えられる。また、EPICS システムの普及はこの拠点事業を通じて韓国にも着実に拡大してきており、アジア地域への発展の芽が育まれてきていると評価できる。今後の一層の発展のためには、IT 大国であるインドを加えることが多角化の成果を高める上で非常に重要であると考えられる。

### 4.3 高エネルギー物理学

#### 4.3.1 B1：GLC 実験のための物理及び測定器研究

日本の高エネルギー物理学次期将来計画の電子・陽電子リニアコライダー計画は、質量発生解明のためのヒッグス粒子並びにすべての力の統一に必要な超対称性粒子の発見とその詳細研究、時空の構造を明らかにするための余剰次元の探索などを目的とする。リニアコライダー計画は規模が非常に大きく、アジア地域を中心とした広範な研究者との協力が不可欠である。実現に向けて、当初は世界に開かれたアジアのセンター << アジア地域の CERN >> のような研究施設実現を想定したが、リニアコライダーが



GLC (Global Linear Collider) として米欧をも含めたより大規模な国際協力の枠組みの中で進められる中、当面はアジア地域の連携を強化することを主目的とし、実験計画や測定器デザインの共同作業を行うこととした。本拠点事業は、ACFA (Asian Committee for Future Accelerators) 傘下のワーキンググループ内での主要なメンバー国である日本と中国の共同作業の推進という位置付けを持つ。

作業は、主としてインターネット等による情報交換を基に実際の研究活動は各研究所・大学で進めることを前提として、その経過・成果を持ち寄り議論する場の提供を重視した。議論交換の場は毎年開かれるアジア各国持回りの ACFA ワークショップと日本の安比高原における APPI (Accelerator and Particle Physics Institute) ワークショップを中心に、折々の日中共同セミナーで補完した。特に 2001 年のワークショップは北京清華大学で行われ、その成果は、アジアの高エネルギー物理学将来計画推進の実験計画シナリオを定めた ACFA レポートに反映された。また 2004 年の APPI ワークショップで発表された中国研究者による光子・光子衝突での  $t$ -クォーク対生成過程、 $t$ 、 $b$ -クォーク等 2 個以上の重いクォークを含むバリオンの生成に関する研究など、日本ではあまり検討されていないテーマに焦点を当てて新しい知見をもたらした。APPI ワークショップは近年知名度を大きく上げ、アジアの参加者が増加したことにより重要性が増し、欧米の著名な国際ワークショップと並ぶ存在に定着しつつある。

ここでの資金の使い方は、短期間に論文発表などの具体的な成果を求めるよりは、より長期的な視野に立って行われている。その観点から、日中研究者の議論交換の場を提供すると共にアジア諸国研究者の一体感を助長し、将来計画実現のための共同作業や日中連携作業推進という目的に大いに役立っていると評価できる。中国側研究者が日本側の視点から欠けているテーマを取り上げ、将来計画検討作業を補完すると共に、物理成果そのものを向上させていることは具体的な成果として評価できる。ただし、海外からの APPI ワークショップ参加者の大多数を中国人研究者が占める事実が示すように、日中拠点事業が大いに貢献していることは事実であるが、ワークショップ参加者は中国以外のアジア諸国研究者を含む。日中拠点事業資金の柔軟的運用により、ある程度の配慮ができる点は評価するが、委員会としては他のアジア諸国研究者にも公平に参加の機会を提供すべく一層の努力が必要であると考ええる。

#### 4.3.2 B2 : Belle 実験

Belle 実験は素粒子物理学における物質と反物質相互の対称性 (CP 対称性) の破れの解明を目指して組織された大型の国際実験グループであり、13 ケ国 54 機関 342 名よりなる。このうち中国からは 16 名 (うち学生 5 名を含む。) が参加している。内訳は高能物理研究所 6、北京大学 4、中国科学技術大学 6 である。CP 非保存現象は既に 1967 年に発見されており数多くの理論的モデルが提唱されたが、希な現象であるが故に、発生原因を明らかにするためには B ファクトリー (電子・陽電子衝突型加速器) の建設を待たなければならなかった。Belle 実験は 2001 年、SLAC の BABAR 実験と同時に B メソン崩壊における CP 非保存現象を発見し、小林-益川モデルを疑問の余地無く立証した。この成果は素粒子物理学においてニュートリノ振動発見と並ぶ近年の大発見である。

中国グループは上記 CP 非保存の解明を含む Belle 実験全般の遂行に積極的に参加すると共に、グループ独自のテーマをも追求した。

- (1)  $[D^0 \rightarrow K^+\pi^-]$  (2002 国際会議発表)、 $[D^0 \bar{D}^0 \text{ 混合探索}]$  (2004 投稿済み、2004PhD 論文) は、チャームクォークが真空中で反チャームクォークに変身する現象で、標準理論では小さいとされる効果



であるが、もし検出できれば新物理への大きな手掛かりとなる研究テーマである。

(2) [*Belle*/KEKB 実験における  $B^- \rightarrow J/\psi \Lambda \bar{p}$  崩壊の探索] (2004 出版) は QCD (クォーク間の力学を支配する理論) におけるグルーボールの存在解明を追求するテーマである。

また、博士論文は [ $B \rightarrow \chi_{c1,2} K^{(*)}$ ] (2002) と [ $D^0 \bar{D}^0$  混合探索] (2004) の 2 編が既に完成し、引き続き生産中である。

最先端の高エネルギー物理学実験が可能な大型加速器センターは世界に 3 – 4 カ所しかなく、国際共同利用が恒常的な研究形態である。そのような制限下で高エネルギー物理学研究を行うことができる国はアジアでは数が非常に限られている。中国が B ファクトリー施設を積極的に利用し、最先端の高エネルギー物理学研究に実質的に関与できている現状は事業の大きな成果の一つとして評価に値する。また中国若手研究者の日本滞在日数が大きく (表 1)、事業予算が若手研究者の育成に実質的に寄与していることも評価できる。より一層の改善策としては、ネットワーク通信などを利用して日本滞在時と中国帰国時に分割されがちな研究の継続性維持及び一体化の向上を計ることが望まれる。

表 1: Belle 実験における中国研究者滞在期間

期 間 (JFY)	訪 問 月 数	
	スタッフ	PhD 学生
2000	17.5	3
2001	9	24
2002	10	18
2003	11.5	25
2004 4-6 月	0	8
合 計	48	78

#### 4.3.3 B3: コライダーの物理と素粒子論

理論的研究であることを除けば、拠点事業の目的及び作業の進め方は、研究テーマ B1 と同じである。これまでの成果は大まかに次の 5 点にまとめられる。

1. 将来のコライダー、特にリニアコライダーの物理に関する理論的研究
2. 日中にまたがる将来計画の超長基線ニュートリノ振動実験の物理に関する理論的研究
3. B ファクトリー、タウチャームファクトリーの物理に関する理論的研究
4. 宇宙初期の物理とその重イオン衝突実験による検証の可能性に関する研究
5. APPI 国際セミナーと KEK 理論部研究会へのアジアの理論家の参加

テーマ B1 と実施形態は似ているが、相対的に比較すると具体的な論文成果が多いのは理論的研究である利点を上手に活かしていると言える。超長基線ニュートリノ振動実験可能性の検討は日中拠点事業のさらなる展開の方向を具体的に示した点で大いに評価できる。

拠点事業により種がまかれ、他の資金などを利用して日本長期滞在が可能となった中国研究者が多々あることも評価できる。交流の場を積極的に周辺の拠点大学に広げて人脈の輪を大きくし、日本学術振興会 (JSPS) その他の資金と連携し優秀な人材の発掘と育成に努めるべきである。

#### 4.3.4 B4：BES 実験

##### 高能物理研究所電子・陽電子衝突スペクトロメータ（BES） $J/\psi$ 崩壊データの解析による中間子状態の系統的研究－カイラル粒子探索－

高能物理研究所の電子・陽電子衝突スペクトロメータ（BES）は大量（約 5800 万事例）の  $J/\psi$  データを記録した。これはそれ以前の全世界タウ・チャームファクトリー生産量の 5 倍に相当する。BES 検出器が捕らえた  $J/\psi$  崩壊現象は、ハドロンスペクトロスコーピー解明材料の宝庫であり非摂動的 QCD の解明に不可欠でユニークなデータを提供する。特に  $\pi$ ,  $K$ ,  $\rho$  等のカイラル同類メソン多重項の存在の確立と定量的データ解析は、QCD 低エネルギーカイラル理論の精密化において重要な課題である。

スピンパリティ ( $J^P$ ) でハドロン状態を分類するとき、 $0^{++}$  重項のうち  $f_0(980)$ ,  $a_0(980)$  の存在は確認されていたが、他の共鳴についての決定的なデータはなかった。拠点事業により日本グループは中国側から豊富なデータの提供を受け、まず  $\sigma$  (シグマ) の存在を同定することができた。 $K\pi$  共鳴の  $k$  (カップ) はさらに困難で、過去 40 年間にわたる世界的な探求にも関わらず明瞭な証拠が得られていなかったが、共同グループはその原因が共鳴振幅の寄与とそれ以外の背景寄与の相殺にあることを最近突き止めて新解析法を開拓することができた。その結果  $J/\psi \rightarrow K^* K^\pm \pi^\mp$  反応等において  $\kappa$  の存在を確立し、質量や崩壊幅を決定することができた。上記の他にも様々なカイラル同類粒子 ( $\alpha_{1X}$ ,  $f_{1X}(1^{++})$ ,  $k_2(0^{+-})$  等) の解析を行っている。

比較的地味ではあるが QCD 理論の精密化には欠かせない解析結果を提供したこと、また日中共同作業なしではあり得なかったユニークなテーマとして評価する。日本側研究者が高齢化しているのでグループを補強して第二期研究につなげることが望ましい。

#### 4.4 放射光科学

##### 4.4.1 C1：既設放射光施設の光源用加速器及びビームラインの高度化に関する共同研究

高能物理研究所放射光施設（BSRF） 本施設は、本来素粒子実験用に建設された加速器を副次的に利用するという立場にあるため、専用利用の可能な時間は年間に 3 ヶ月しかない。また、エネルギーが 2.2 GeV であり、硬 X 線の安定したビームを出すことができなかった。そのため設立から既に 20 年近く経過しているにもかかわらず、あまり目立った成果が上がっているとは言えなかった。そのような状況下で拠点事業が始まったわけであるが、これには 2 つの大きな成果があった。

###### (1) 真空封止型マルチポールウイグラーの設計製作

真空封止型マルチポールウイグラーは KEK で開発された強力な X 線を発生する挿入光源であり、これを BSRF のストレージリングに導入することは、硬 X 線利用実験に大きな利点がある。この設計、製作にあたって、KEK が BSRF に大きな貢献をした。具体的には、BSRF から 6 名の技術者が KEK を訪れて訓練を受け、KEK から立ち上げ調整に BSRF へ行き、直接指導をした。現在、この挿入光源が 2 台導入され、いずれも順調に稼動しており、BSRF の放射光利用研究に大きな発展をもたらした。これと並行して、高熱負荷型のビームラインの建設、直接水冷型マイクロチャンネルシリコン結晶に関しても KEK からの技術供与がなされている。

###### (2) ウイグラーに取り付けられた蛋白構造解析ビームライン、XAFS ビームラインの設計製作。

硬 X 線領域の放射光の利用で特に力をいれている蛋白質構造解析用のビームライン、及び XAFS ビームラインの建設にあたって、設計段階から BSRF 側のスタッフを受け入れて技術指導を行い、今では KEK 放射光科学研究施設(PF)のビームラインに遜色のないものが完成している。その成果として、SARS 関連の蛋白質の構造解析が行われ、Nature 誌の表紙を飾ったことが挙げられる。蛋白構造解析には、伝統的に実績を持つ北京大学、精華大学という二つの一流大学が北京市内にあることが大きな利点になっており、今後の更なる発展が期待できる。一方、XAFS ビームラインも活発に使われているようであるが、これは構造解析の一手段であるため、いかに多くの物質系に応用されるかが鍵となろう。他にも、光電子分光や、磁気円二色性 (XMCD) のビームラインの改良を目的として、KEK に技術者を派遣しているが、まだ、これらには大きな改良がなく、それほど成果はなかった。これには現在の施設のおかれたパラサイト利用という深刻な状況が大きく効いているように思われる。

それに関連して、BSRF のマシンタイム配分などにももう少し工夫が欲しい。現時点では、放射光マシンタイム、加速器 R & D、素粒子実験をそれぞれまとめて配分しているが、加速器 R & D を週の 1、2 日にして放射光利用とマージするなどの弾力的な運営によってビームタイムの増加が望まれる。また、素粒子実験の際でも、実験条件は厳しいものの、放射光利用可能なものは積極的に使うようにした方が良くと思われる。放射光利用の活性化にはクリティカルな運転時間があり、特に、軟 X 線分光のように長時間のマシンタイムを要するものは、ある程度以上運転時間が利用できないと成果が期待できないし、優秀なユーザーも育たないのではないか。

また、BSRF に放射光利用を目的とした加速器専門家がいれば、もっとスムーズに拠点事業が進んだと思われる。将来の専用化が望まれるが、エネルギーを上げて硬 X 線領域をもう少し使いやすくすることが、短期間で実験の可能な硬 X 線ユーザーを増やし、活性化への近道となろう。

**中国科学技術大学放射光施設 (NSRL)** NSRL は電子エネルギー 800MeV の VUV リングであり、日本の UVSOR と仕様がほとんど同じである。この加速器ではビームが不安定で、入射に時間がかかるなど加速器の諸問題が山積していた。これらに関して本拠点事業による NSRL 技術者の KEK での技術指導及び KEK からの光源研究者派遣、マシンスタディへの参加により、性能が大幅に改良した。(ビーム診断、ビーム不安定の改良による長寿命化と入射の改良による大電流蓄積化) これは、本拠点事業の大きな成果といえよう。

利用研究に関しては、広島大学放射光科学研究センター (HiSOR) に学生を派遣し、高分解能角度分解光電子分光実験で共同研究を行い、論文にまとめている。これには、HiSOR サイドの献身的なサポートがあったと思われる。NSRL 側では、今後、日本に 3 ヶ月以上の長期滞在を可能にして、HiSOR や分子科学研究所 (UVSOR) での実験研究を推進したい意向があった。確かにこのような共同研究は日中双方にある程度の貢献があると考えられるが、一過性のものであり、長期的にみたとき、NSRL の加速器、ビームラインの性能向上と、中国内の軟 X 線、VUV 利用研究者の活性化を図ることの方が望ましい方向ではないだろう。

加速器はある意味では生き物であり、常に性能の維持、向上に努力しないと次第に劣化し、ユーザーにとって魅力のないものになってしまう。現在の NSRL の状況を見ると、光源加速器にはまだ改良すべき点が多い。KEK 放射光科学研究施設 (PF)、あるいは、UVSOR 光源加速器専門家による技術協力は今後

も続けるべきであろうし、また、NSRL で起こる諸問題は、PF、UVSOR にとっても共通の問題として重要なものになる。その意味では、通信ネットワークをさらに整備して情報交換をより緊密にすべきであろう。

これまで NSRL での放射光利用研究で目立つ成果が出ているとはいえない。これは光源加速器が最先端でなく、また、ビームラインも完備されていないためと思われる。特に、軟 X 線、VUV の実験は超高真空が必要な分光実験が多く、装置整備に大きな予算が必要とされる。このことは中国の施設で成果が出にくい大きな要因でもあるが、最近の中国での急速な産業経済の発達を見ると、必ず近年にこれらの研究に対するニーズが高まってくると思われる。ただ、後述する上海放射光施設（SSRF）との関連でどのように役割分担するかは今後の中国放射光分野の重要な課題であろう。なお、NSRL はウイグラービームラインで蛋白構造解析の実験を始めている。また、ドイツなどとも共同研究を進めており、超微細加工研究、いわゆる LIGA プロジェクトも進めている。

#### 4.4.2 C2：SSRF 加速器とビームラインの R & D に関する共同研究

上海には 3.5GeV 第 3 世代放射光施設（SSRF）の建設計画があり、今年 1 月に建設が承認された。日本には硬 X 線利用を主体とした第 3 世代光源 SPring-8 が西播磨で稼動しているが、軟 X 線領域の第 3 世代光源は未だ認められていない。そのような状況下での上海放射光施設（SSRF）の建設は歴史的な快挙であり、完成すればアジアの軟 X 線、VUV 光源としては最も性能の高いものになることが期待される。これは同じアジアの一員として祝福すべきことである。

これまでも、数名の技術者が KEK に派遣され、新加速器建設に関する一般的な問題点の洗い出し、熱負荷対策についての検討を行ってきている。しかし、施設の建設が認められ、実際に運転開始が予定されている 2009 年までにすべてを間に合わせ、最先端の放射光利用実験をすぐに始めていくためには、早急にやらなければならないハード面、ソフト面の問題が山積している。

ハード面では、現在、高周波加速器のプロトタイプを作っている段階であるが、日本の加速器、ビームライン技術の協力が、今後、より一層重要になってくるであろう。ソフト面では、今後、どのような研究をするか、そのためにどのようなビームラインを建設するかを検討するために、ユーザー組織を立ち上げること、あるいは、日本や欧米諸国のアドバイスを受けられる組織をつくることが肝要である。そして、研究スタッフの養成と整備が重要である。スタッフを PF、SPring-8、あるいは世界の放射光施設に派遣して、最先端の利用研究に参加したり、自ら、課題申請して研究をすることである。また、世界の様々な放射光施設で活躍している中国系の科学者を呼び戻すことも検討すべきであろう。そのような努力なしには、素晴らしい施設ができてても十分に活用できなくて、単に欧米や日本でやった研究の後追い研究になってしまう恐れがある。

ただ、この建設計画は中国が主体で行うものであり、中国がどの程度日本に期待するかによって状況は大きく異なる。SSRF 計画はアジアでは最先端の施設になる可能性を持っており、中国もアジアを中心とした国際的利用の枠組みを作って欲しい。日本にとってもこのような高輝度放射光施設の建設は加速器科学の観点からも、利用研究の立場からも興味深いものであり、ギブアンドギブからギブアンドテイクに替って行く大きな契機になるとも考えられる。今後、十分、将来の共同研究について双方で討議を行って、実り多い共同研究として発展させてもらいたい。



## 5 委員会の意見

**拠点事業の果たす役割** 加速器科学は周辺工業技術基盤の支えを必要とする総合科学である。集中的な人的財的資源の投入を必要とする巨大科学でもあり、一国の規模を越えた国際共同建設、共同研究が不可欠な学問分野である。現時点で日本は、加速器科学における世界の3大拠点の一つを担っているが、厳しい国際競争を生き抜く観点からは、周辺国の工業技術・人的資源をどれだけ活用できるかが死活的な意義を持つ。この点において日本は、アメリカ及びヨーロッパに比較して決定的に不利な立場に立つ。アジア地区で高エネルギー物理学実験用加速器を持つ国は、今のところ日本と中国に限られる。放射光加速器については、すでにインド、韓国、台湾、タイ、シンガポール等で建設された。アジア地区の加速器科学を振興することは、これらの国の科学発展を支援する重要な国際貢献と言えるが、加速器科学において日本が最先端の位置を保持するという国益の観点からも必須の条件であることを強調しておきたい。この意味において本拠点事業の果たす役割は大きい。中国側からの観点に立てば、国際政治情勢により米国への訪問が困難になりつつあるこの時期の補完活動の一部としての位置付けもあると思われる。

**拠点事業の性格** 現時点では日本からの研究協力、技術移転という側面が強いが、交流を進めていずればギブアンドテークによる相互互惠体勢を目指すことは当事者双方の望むところである。この意味で、中国側からの派遣人員選定基準が、既に研究者個人の視野を広げる観点から研究遂行に必要な人材の登用に移りつつある現状を歓迎する。この姿勢は成果にも反映され、既に、ビーム不安定性のテストや Belle 実験への寄与、BEPC データの解析、GLC 物理への新しい観点の提供など、日本側にとっても、また純粋な物理成果という観点からも有益な成果が出始めている。5年を経過した現時点では、従来の支援型共同研究の比重を軽減する方向で進めるべきであろう。長基線ニュートリノ振動実験の大型遠距離測定器を中国に設置する可能性や、上海放射光施設（SSRF）で日本ユーザーが育つ可能性など将来への見通しは明るい。

**対象国拡大について** 上に述べたように、拠点事業の果たす基本的役割はアジア諸国全体の加速器科学のレベルアップにあるので、可能な限り事業対象国を増やすことが望ましい。本拠点事業対象のプロジェクトは、すべて本質的にマルチ国際的な性格を持つ。拠点事業がサポートする多くのプログラムにおいても中国以外の研究者が含まれていて、その多くは他のアジア諸国からの研究者である。上記の視点に立てば拠点事業遂行においても援助対象を中国以外にも適用する必然性がある。これはまた不公平感を助長しないという現場への配慮からも必要であろう。これらの問題は、今や資金の柔軟運用で切り抜けられるスケールを越え、本格的多国籍間拠点大学事業として中国以外のアジア諸国にも事業を広げる時期にきていると思われる。対象は、ある程度加速器科学が発達しており事業の成果を期待できるところ（韓国、インドなど）から順次広げていくべきであろう。

**プログラム拡張について** 加速器科学の発達レベルに応じて研究対象も多様化する。既に中国側は大強度陽子加速器（CSNS 及び J-PARC）や加速器駆動未臨海炉（ADS）、J-PARC の長基線ニュートリノ実験（東海から北京）などに関心を示しており、いずれは電子加速器からハドロン加速器などにも事業対象を広げる必要性があると思われる。採用すべきプログラムとしては相手国のニーズに応じ、効率よい事業が実行できる可能性の高い領域に的を絞り順次広げて行くのがよいと思われる。

**人材活用は広い範囲から** 過去の人物交流実績を観察すると、中国側の若手研究者が中国科学院（CAS）傘下の研究機関に偏っているように思われる。加速器科学を振興する観点からは、加速器科学活動を行っている大学及び研究機関がすべて実質的参加の機会を与えられることが望ましい。研究活力の活性化を図るには大学の持つ豊富な人的資源を大いに活用すべきであり、参加協力大学からの若手研究者の活用をより一層促進すべきである。

**より一層の充実化を目指して** 本拠点事業は既に目的にふさわしい成果を着実に上げつつあるが、事業全体、特に中国側の研究パワーをより一層挙げるために、本国滞在時及び日本出張時の研究活動の一体化および継続性への配慮が肝要であろうと思われる。日本派遣時と中国ホームグラウンドでの仕事の一貫性を必ずしも保てない原因としては、高能物理研究所（IHEP）と上海応用物理研究所（SINAP）の次期加速器建設が同時進行して、加速器科学における中国側マンパワーが不足していることが挙げられる。この対策には国の科学政策を含む総合的対応を必要とする局面もあり、研究者だけでは動かせない要因も介在するが、中国側研究者及び当局の拠点事業遂行に対する目的意識と自覚を高めること、実務的にはネットワーク通信などの充実に向けた、より一層の努力が望まれる。

**若手研究者養成の努力** 中国を含むアジア諸国は人材の宝庫であるが、社会的・地域的要因により、若手研究者が腕を磨き、かつ、交流する場の提供という点で、西欧の同世代研究者に比べ圧倒的に不利な立場にある。各種のワークショップへの若手参加と大学院レベルの（サマー）スクール開催を奨励することが長期的戦略として重要である。ワークショップは目的がはっきりしているがジュニア学生には資金供給を行い難く、大学院レベルの（サマー）スクールはハイレベルの講師を招いたり、恒常化するための資金が不足しがちである。関連国際会議やワークショップに連動してスクールを開催するなどの工夫をして、他の研究資金と連動させて幾ばくかの奨学金を提供する機会を多数設けるなど事業資金の柔軟運用を図るべきであろう。

## 6 まとめ

2000 年から 10 ケ年計画として始められた「加速器科学分野における日中拠点大学交流事業」は、拠点事業が、高エネルギー加速器研究機構（KEK）と高能物理研究所（IHEP）及び上海放射光施設（SSRF）の間にあった既存の協力事業を発展させる形で始められたお陰で、最初の 5 ケ年を経過した現時点において既に大きな成果を挙げると共に、次期 5 ケ年実施計画についても明るい見通しが得られた。事業として大きく成功していることを委員会は評価し祝福する。

本拠点事業の性格が研究支援・技術移転からギブアンドテークによる相互互惠体勢を目指して、既にビーム不安定性のテストや Belle 実験への寄与、BEPC データの解析、GLC 物理への新しい観点の提供など、日本側にとっても、また純粋な物理成果という観点からも有益な成果が出始めていることは評価に値する。

主な成果としては次のような項目が挙げられる。

1. ★ KEK の B ファクトリー加速器は、2003 年 5 月に加速器史上最高の輝度 ( $10^{34}/\text{cm}^2/\text{s}$ ) を達成した。これには電子雲によるビーム不安定性の共同研究が大きく貢献した。



- ★ 高エネルギー加速器技術成果として、さらに、
  - (1) 超伝導加速空洞技術の共同 R&D の成果として、BEPcII における KEK 方式の採用
  - (2) 加速器制御システム EPICS の普及努力と BEPCII における採用決定
  - (3) 世界の次期将来加速器計画リニアコライダー GLC 実現に向けた KEK/ATF における世界最小のエミッタンスの達成
- 2. ★ Belle 国際共同実験グループによる B メソン崩壊での CP の破れの発見は、小林 - 益川モデルの正当性を証明し、素粒子物理 30 年の未解決問題に決着を付けた。
  - ★ その他の高エネルギー物理学実験関連成果として、
    - (1) ACFA ワークショップ開催による成果として、アジアの高エネルギー物理学将来計画シナリオを定めた ACFA レポートの作成共同作業、及び日本の APPI ワークショップの定着化とアジアでの知名度の向上
    - (2) BEPC データの解析による QCD 低エネルギーカイラル理論の精密化、特に  $0^{++}$  共鳴  $\kappa$  の確立
    - (3) 大型遠距離検出器を中国に設置する超長基線ニュートリノ振動計画の検討を含む種々の理論的活動
- 3. ★ 高能物理研究所放射光施設 (BSRF) におけるマルチポールウイグラー設置による硬 X 源の実現、高熱負荷型 / 蛋白質構造解析 / XAFS 等のビームラインの設置により、SARS ウィルス構造解明等の成果を上げた。
  - ★ 中国科学技術大学放射光施設 (NSRL) の改良及び NSRL グループによる広島大学放射光科学研究センター (HiSOR) 実験
  - ★ 上海放射光施設 (SSRF) 加速器とビームライン設置 R&D の共同研究

委員会としての意見を次にまとめる。

1. 研究支援・技術提供型交流から相互互惠型交流に向けた努力の成果は既に見られるが、より一層の努力をすべきである。
2. 上海放射光施設 (SSRF) の建設とその利用研究の策定にあたっては、より密接な共同研究をすべきである。
3. 拠点事業対象国を、韓国、インドなどを含むアジア諸国に広げるべきである。
4. プログラム対象をハドロン加速器 (J-PARC) 等にも広げるべきである。拡張に際しては慎重な検討の上、相手国のニーズに応じて効率よい事業が遂行できる可能性の高い領域に的を絞り、順次広げてゆくのがよいと思われる。
5. 幅広い参加協力大学からの若手研究者の活用をより一層促進すべきである。
6. 日中両地域に分断されがちな研究活動の一体化へ向けた環境整備の努力を心がけるべきである。
7. ワークショップやサマースクール等への若手参加の機会を増やすと共に、長期滞在を可能にする方策実現へ向けて一層の努力をすべきである。

## 7 補足資料

### I 評価委員会構成メンバーリスト

	氏 名	ふりがな	所属・職
委員長	長島 順清	ながしま よりきよ	大阪大学・名誉教授
委 員	太田 俊明	おおた としあき	東京大学・教授
委 員	辻村 達哉	つじむら たつや	共同通信社・編集局科学部次長職
委 員	野田 章	のだ あきら	京都大学・教授

### II 評価委員会議事日程

- 第1回日中拠点大学交流事業評価委員会議事日程 5月27日（KEK）
  - 各委員及び機構側出席者自己紹介
  - 委員長の選出
  - 機構の概要説明
  - 日中拠点大学交流事業の概要説明
  - 評価委員会の進め方について
  - 各プロジェクトからの研究状況報告
  - その他
- 第2回日中拠点大学交流事業評価委員会議事日程 6月17日（IHEP）

General introduction on IHEP

  - An overview of the Sino-Japan core-university program
  - Collaboration on beam instability study
  - Collaboration on superconducting technology
  - Collaboration on the ATF and Linacs
  - Collaboration on EPICS
  - Collaboration on synchrotron radiation research
  - Collaboration on BELLE
  - Collaboration on BES physics analysis
  - BES & Its future
- 第3回日中拠点大学交流事業評価委員会議事日程 6月18日（SINAP）
  - Introduction about the scientific research of SINAP including SSRF activities and its progress
  - Review about the scientific activities between KEK and SSRF
  - Review about the scientific activities between core-university and NSRL
  - Visiting SINAP (vacuum, RF, 100Mev Linac, T-ray, control system, beam diagnose, etc.)
- 第4回日中拠点大学交流事業評価委員会議事日程 8月11日－12日（KEK）
  - 各プロジェクトからの研究状況報告
  - 評価報告書作成について
  - まとめ

### III 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構拠点大学交流事業（加速器科学分野） 研究計画委員会規程

平成 16 年 4 月 19 日  
規程第 60 号

#### （設置）

第 1 条 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構（以下、「本機構」という。）に、拠点大学交流事業（加速器科学分野）研究計画委員会（以下、「委員会」と言う）を置く

#### （任務）

第 2 条 委員会は、独立行政法人日本学術振興会（以下、「JSPS」という。）と中国科学院（以下、「CAS」という。）との間で調印された、「日本学術振興会と中国科学院との拠点大学方式による学術交流（加速器科学分野）の実施大綱」により実施される本機構と中国科学院高能物理研究所（以下、「JHEP」という。）を拠点大学とする加速器科学分野における交流事業（以下、「交流事業」という。）に関する日本側の事業計画等について審議する。

#### （組織）

第 3 条 委員会は、次の各号に掲げる委員をもって組織する。

- (1) 交流事業における日本側コーディネーター
- (2) 副所長
- (3) 研究総主幹
- (4) 素粒子原子核研究所の職員のうちから 2 人
- (5) 物質構造科学研究所の職員のうちから 2 人
- (6) 加速器研究施設の職員のうちから 2 人
- (7) 機構外の学識経験者若干人
- (8) その他機構長が必要と認める者

#### （任期）

第 4 条 前条第 4 号から第 8 号に掲げる委員の任期は、5 年とし、再任を妨げない。ただし、その欠員が生じた場合の補欠委員の任期は、前任者の残任期間とする。

#### （委員長）

第 5 条 委員会に委員長を置き、日本側コーディネーターをもって充てる。

- 2 委員長は、委員会の会務を総理する。
- 3 委員長が委員会に出席できない場合には、あらかじめ委員長が指名する委員が、その職務を代行する。

#### （招集）

第 6 条 委員会は、必要に応じ、委員長が招集する。

#### （議事）

第 7 条 委員会は、委員の過半数の出席がなければ、議事を開き議決することができない。

- 2 委員会の議事は、出席した委員の過半数をもって決し、可否同数のときは、委員長の決するところによる。

#### （評価委員会）

第 8 条 委員会に、交流事業を評価するため、評価委員会を置く。

- 2 評価委員会の組織、運営等については、機構長が別に定める。

(庶務)

第9条 委員会の庶務は、総務部国際企画課において処理する。

(雑則)

第10条 この規程に定めるもののほか、委員会の運営に関し必要な事項は、別に定める。

附 則

1 この規程は、平成16年4月19日から施行し、平成16年4月1日から適用する。

2 この規程の施行後、最初に委嘱される第3条第4項から第8号に掲げる委員の任期は、第4条の規定にかかわらず、平成17年3月31日までとする。

#### IV 日中拠点大学交流事業（加速器科学分野）研究計画委員会委員リスト

氏名	ふりがな	所属・職	備考
黒川 眞一	くろかわ しんいち	高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設・研究総主幹	コーディネーター ＊
高崎 史彦	たかさき ふみひこ	高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所・副所長	＊
松下 正	まつした ただし	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所・副所長	＊
岩田 正義	いわた せいぎ	高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所・教授	
徳宿 克夫	とくしゅく かつお	高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所・助教授	
春日 俊夫	かすが としお	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所・教授	
河田 洋	かわた ひろし	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所・教授	
吉岡 正和	よしおか まさかず	高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設・教授	
細山 謙二	ほそやま けんじ	高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設・教授	
相原 博昭	あいはら ひろあき	東京大学 大学院理学系研究科・教授	
加藤 政博	かとう まさひろ	自然科学研究機構 分子科学研究所・教授	
日笠 健一	ひかさ けんいち	東北大学 大学院理学研究科・教授	
中西 彊	なかにし つとむ	名古屋大学 大学院理学研究科・教授	
笹尾 登	ささお のぼる	京都大学 大学院理学研究科・教授	

＊ 職指定

V 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構日中拠点大学交流事業（加速器科学分野）  
評価委員会の組織運営等に関する要項

平成 16 年 4 月 23 日

高エネルギー加速器研究機構長裁定

（設置）

- 1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構拠点大学交流事業（加速器科学分野）研究計画委員会（以下「研究計画委員会」という。）規程第 8 条第 2 項の規定に基づき、日中拠点大学交流事業（加速器科学分野）評価委員会（以下「委員会」という。）を置く。

（任務）

- 2 委員会の任務は、次に掲げるものとする。
  - (1) 日中拠点大学交流事業（加速器科学分野）について基礎資料の収集及び意見聴取
  - (2) 実地調査
  - (3) 評価委員会報告書の作成及び同報告書の研究計画委員会への提出

（組織）

- 3 委員会の委員は、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構以外の学識経験者をもって構成する。

（任期）

- 4 委員の任期は、委嘱の日から、評価委員会報告書を研究計画委員会へ提出する日までの間とする。

（委員長）

- 5 委員会に委員長を置き、委員の互選によって定める。

- (2) 委員長は、委員会の会務を総理する。

（招集）

- 6 委員会は、必要に応じ、委員長が招集する。

（雑則）

- 7 この要項に定めるもののほか、委員会の運営に関し必要な事項は、別に定める。

附 記

この要項は、平成 16 年 4 月 23 日から施行し、平成 16 年 4 月 1 日から適用する。

## VI 日中拠点大学交流事業参加グループリスト

表 2：【日中拠点大学交流事業組織】

日本側		中国側
日本学術振興会（JSPS）	事業主体	中国科学院（CAS）
高エネルギー加速器研究機構（KEK）	拠点大学	中国科学院高能物理研究所（IHEP）
戸塚洋二・KEK 機構長	実施組織代表者	Chen Hesheng・IHEP 所長
黒川眞一・KEK 教授	コーディネーター	Zhan Chuang・IHEP 副所長
東北大学 / 大学院理学研究科 / 多元物質科学研究所 茨城大学 / 工学部 東京大学 / 大学院理学系研究科 / 素粒子物理国際研究センター / 物性研究所 東京農工大学 / 工学部 早稲田大学 / 理工学部 名古屋大学 / 大学院理学研究科 / 大学院工学研究科 京都大学 / 大学院理学研究科 / 基礎物理学研究所 大阪大学 / 大学院理学研究科 広島大学 / 大学院理学研究科 / 放射光科学研究センター 自然科学研究機構 / 分子科学研究所 他	協力大学	中国科学院上海放射光施設 中国科学院理論物理研究所 北京大学 清華大学 中国科学技術大学 山東大学 浙江大学 中国高等科学技術中心 スラナリー大学 浦項工科大学



## VII 用語解説

<b>ACFA</b>	Asian Committee for Future Accelerators: アジア加速器将来計画委員会：アジア及び太平洋各国の加速器物理学代表者より構成される委員会で、アジア地域の加速器将来計画を策定する。参加国地域：インド、オーストラリア、韓国、タイ、台湾、中国、日本、ベトナム
<b>APPI</b>	Accelerator and Particle Physics Institute: 日本の安比高原で毎冬開催される将来計画に重点を置いた加速器と素粒子物理学のワークショップ。
<b>ATF</b>	Accelerator Test Facility: 次期電子・陽電子衝突型線型加速器（リニアークライダー、GLC）の実現に焦点を合わせた開発研究を行っている試験加速器。高エネルギー加速器研究機構にある。
<b>Belle</b>	高エネルギー加速器研究機構にある B ファクトリーと呼ばれる電子・陽電子衝突型加速器を使って、大量の B メソンを発生させその崩壊を観測する素粒子実験。CP 非保存現象の研究を主目的とする。
<b>BEPC, II</b>	Beijing Electron Positron Collider: 高能物理研究所の電子・陽電子衝突型加速器かつ放射光光源。BEPC は 1.9GeV、1988 年稼働。BEPCII は 2 リング改良型。BEPC の 100 倍の輝度を目指し、タウ・チャームファクトリーとして大量のタウレプトン、チャームメソンを生産する。
<b>BES, II</b>	Beijing Spectrometer: BEPC, II 加速器を使う実験装置
<b>BSRF</b>	Beijing Synchrotron Radiation Facility: 高能物理研究所放射光施設。
<b>CAS</b>	Chinese Academy of Science: 中国科学院。
<b>CP 対称性とその破れ</b>	物理法則は物質と反物質の入れ替えで変わらないと言う対称性。CP 対称性の破れは 1967 年に発見された。我々の住む物質宇宙起源解明の鍵を握る。2001 年に KEK の Belle 実験や SLAC の BaBar 実験で小林 - 益川モデルが正しいことを検証した。
<b>CSNS</b>	Chinese Spallation Neutron Source: 強力な破碎中性子源を作るための中国の大強度陽子加速器建設計画。
<b>EPICS</b>	Experimental Physics and Industrial Control System: 加速器や大型測定器の分散制御システムのためのソフトウェアツール。加速器制御技術の世界標準になりつつある。
<b>FEL</b>	Free Electron Laser: アンジュレーター（複数の永久磁石による周期磁場で擬似単色放射光を得る装置）からの放射光を種光として、共振鏡を用いたり、自発増幅などの手段によって波長可変なレーザー光を得る装置。
<b>GLC</b>	Global Linear Collider: 世界規模の次期高エネルギー加速器リニアークライダーをアジア地区に建設する計画。
<b>HiSOR</b>	Hiroshima Synchrotron Orbital Radiation: 広島大学放射光科学研究センターの電子蓄積リング
<b>IHEP</b>	Institute for High Energy Physics: 北京高能物理研究所。
<b>J-PARC</b>	Japan Proton Accelerator Research Center: 高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究所の共同プロジェクトで、50GeV 大強度陽子シンクロトロンを中心に、高エネルギー物理学、原子核物理学、中性子物理学、中間子物理学、核変換処理などを含む次期研究計画施設。2007 年稼働予定。
<b>LIGA</b>	リソグラフィ Lithographie、電鍍 Galvanoformung、成形 Abformung の頭文字からの略語。放射光を用いた転写、鋳型形成、金属蒸着を組み合わせたマイクロ加工技術。

<b>NSFC</b>	National Science Foundation in China: 中国国家自然科学基金委員会。
<b>NSRL</b>	National Synchrotron Radiation Laboratory: 合肥（Hefei）にある中国科学技術大学の国立放射光施設。
<b>PF</b>	Photon Factory: 高エネルギー加速器研究機構にある放射光施設。
<b>QCD</b>	Quantum Chromo-Dynamics: 量子色力学。クォーク及びクォークを結びつけるグルーオンの相互作用を記述する。陽子や $\pi$ 、K メソン等を作り上げる力学の理論体系。
<b>SARS</b>	Severe Acute Respiratory Syndrome: 重症急性呼吸器症候群。
<b>SINAP</b>	Shanghai INstitute of Applied Physics: 上海応用物理研究所。旧 SINR（Shanghai Institute of Nuclear Research）で、SSRF 計画が認められて改名した。
<b>SPRing-8</b>	西播磨学園都市にある電子エネルギー 8 GeV の第 3 世代高輝度放射光施設。
<b>SSRC</b>	Shanghai Synchrotron Radiation Center: 上海放射光研究センター。
<b>SSRF</b>	Shanghai Synchrotron Radiation Facility: 上海放射光施設。SINAP に設置予定（稼働開始 2008 年予定）の 3.5GeV 第 3 世代放射光光源施設。
<b>UVSOR</b>	Ultra Violet Synchrotron Orbital Radiation: 自然科学研究機構分子科学研究所にある真空紫外、軟 X 線領域専用の放射光施設。
<b>VUV</b>	Vacuum Ultraviolet: 真空紫外光。紫外線よりエネルギーが高く、大気で吸収される光の領域。300 nm $\sim$ 100 nm。それより上は軟 X 線。
<b>XAFS</b>	X-ray Absorption Fine Structure: X 線吸収スペクトルのことであるが、特に、吸収スペクトルに現れる微細構造をさす。この解析によって物質の局所構造の情報が得られる。
<b>XMCD</b>	X-ray Magnetic Circular Dichroism: X 線磁気円二色性。右回り、左回り円偏光による吸収スペクトルの違いは円二色性と呼ばれるが、X 線領域の円二色性で、特に磁性物質に応用したものを呼ぶ。

## VIII. 出版リスト

### Project No.A1

- 1) “Study and Design of Superconducting Cavity for BEPC-II” Li Zhongquan, 2003, IHEP
- 2) “Some Studies on Higher Order Modes in BEPC-II Superconducting Cavity” W. Pan, Y. Sun, G. Wang, T. Furuya and S. Kurokawa, High Energy Physics and Nuclear Physics, Vol. 28, No. 3, March, 2004
- 3) “Study of Heavily Damped SC RF Cavity” Z. Li and C. Zhang, High Energy Physics and Nuclear Physics, Vol. 27, No. 10, pp919-925, 2003
- 4) “RF System for the KEK B-Factory” K. Akai, et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 499, 2003 pp.45-65
- 5) “Achievements of the superconducting Damped Cavities in KEKB Accelerator” T. Furuya, et al.

### Project No.A2

- 1) “Beam Instability Studies in the BEPC” Z.Y. Guo et al., Proceedings of 2000 European Particle Accelerator Conference, Vienna, Austria, p1127.
- 2) “Studies on bunch lengthening at the BEPC” Q. Qin et al., Nuclear Instruments and Methods A, Vol 463, 77 (2001).
- 3) “Experiment to measure the Electron Cloud at BEPC” Z.Y. Guo et al., Proceedings of 2001 Particle Accelerator Conference, Chicago, USA, FOAB003.
- 4) “Survey of Recent Results on Electron Cloud Effects in Photon Machine” K.C. Harkay, Z.Y. Guo et al., Proceedings of 2001 Particle Accelerator Conference, Chicago, USA, FOAB002.
- 5) “Studies on the Photoelectron Cloud at the BEPC” Z.Y. Guo et al., Proceedings of 2001 Asian Particle Accelerator Conference, Beijing, China, WEBU03.
- 6) “Preliminary Study of the BEPCII Impedance” J.Q. Wang, Proceedings of 2001 Asian Particle Accelerator Conference, Beijing, China, WEBU04.
- 7) “Collective Effects in the BEPCII Single-Ring Scheme” Q. Qin, Proceedings of 2001 Asian Particle Accelerator Conference, Beijing, China, WEBU05.
- 8) “The study on Beam Photoelectron Instability in BEPC” Z.Y. Guo et al., published on High Energy Physics and Nuclear Physics, 2001 (in Chinese).
- 9) “Bunch Length Measurement in the ATF Damping Ring” T. Naito, Q. Qin et al., KEK-ATF-01-01, IHEP-AC-AP-Note/2001-15.
- 10) “Simulation Study on ECI for BEPC and BEPCII” Xing et al., Proceedings of Mini-Workshop on Electron-Cloud Simulations for Proton and Positron Beams, Geneva, Switzerland, 2002, p235.
- 11) “Collective Effects Study for BEPCII” J.Q. wang et al., Proceedings of 2002 European Particle Accelerator Conference, Paris, France, p1583.

- 12) "Bunch Length Measurement on BEPC" Z. Zhao et al., Published on High Energy Physics and Nuclear Physics, 2002 (in Chinese).
- 13) "Two Stream Instability in Storage Ring" Z.Y. Guo et al., the 8th Particle Accelerator Physics Symposium, 2002 (in Chinese).
- 14) "Experimental Studies of the Photoelectron Instability in the Beijing Electron Positron Collider" Z.Y. Guo et al., Physical Review Special Topics - Accelerators and Beams, Vol. 5, 124403(2002).
- 15) "Measurement Study on Electron Cloud in BEPC" Z.Y. Guo et al., BEPC Annual Meeting, 2002 (in Chinese).
- 16) "Simulation of the Electron Cloud Density in BEPCII" Y.D. Liu et al., published on High Energy Physics and Nuclear Physics, 2003 (in Chinese).
- 17) "Electron Cloud Measurement in BEPC" Z.Y. Guo et al., IHEP-AC-AP-Note/2003-15, 2003 (in Chinese).
- 18) "Experiment of Clean Electrode on ECI in BEPC" Y.D. Liu et al., IHEP-AC-AP-Note/2003-30, 2003 (in Chinese).
- 19) "Experiment of Solenoid on ECI in BEPC" Y.D. Liu et al., IHEP-AC-AP-Note/2003-35, 2003 (in Chinese).
- 20) "Simulation of the Electron Cloud Instability for BEPCII" Y.D. Liu et al., Proceedings of 3rd Asian Particle Accelerator Conference, Gyeongju, Korea, 2004.
- 21) "Recent Experimental study on ECI at the BEPC" Q. Qin et al., Proceedings of 3rd Asian Particle Accelerator Conference, Gyeongju, Korea, 2004.
- 22) "The studies of Electron Cloud Instability" Z.Y. Guo et al., Proceedings of 3rd Asian Particle Accelerator Conference, Gyeongju, Korea, 2004.
- 23) "Experiment of Electron Cloud Instability in BEPC" Z.Y. Guo et al, Proceedings of 2004 European Particle Accelerator Lucerne, Switzerland.
- 24) "Beam Instability Studies of BEPC and BEPCII" J.Q. wang et al, Proceedings of 2004 European Particle Accelerator Lucerne, Switzerland.
- 25) "The Electron Cloud Instability Studies in the BEPC" J.Q. wang et al., Proceedings of 31st ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on Electron-Cloud Effects, 2004.

### **Project No.A3**

- 1) "Achievement of Ultra-low Emittance Beam in the ATF Damping Ring" Y.Honda, K.Kubo et al., Physical Review Letters, Vol.92, No.5, 054602-1 (2004)
- 2) "Polarimetry of Short-Pulse Gamma Rays Produced through Inverse Compton Scattering of Circularly Polarized Laser Beams" M.Fukuda, T. Aoki, K. Dobashi, T. Hirose, T. Iimura, Y. Kurihara, T. Okugi, T. Omori, I. Sakai, J. Urakawa, and M.Washio, Physical Review Letters, Vol.91, No.16, 164801-1 (2003)
- 3) "Measurements of electron beam emittance in the Accelerator Test Facility damping ring operated in multibunch modes" Yosuke Honda, Noboru Sasao, Sakae Araki, Hitoshi Hayano, Yasuo Higashi, Kiyoshi

Kubo, Toshiyuki Okugi, Takashi Taniguchi, Nobuhiro Terunuma, Junji Urakawa, Yoshio Yamazaki, Koichiro Hirano, Masahiro Nomura, Mikio Takano, and Hiroshi Sakai, PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - ACCELERATORS AND BEAMS, VOLUME 6, 092802 (2003)

- 4) "Production of high brightness rays through backscattering of laser photons on high-energy electrons" I.Sakai, T.Aoki, K.Dobashi, M.Fukuda, A.Higurashi, T.Hirose, T.Imura, Y.Kurihara, T.Okugi, T.Omori, J.Urakawa, M.Washio, and K.Yokoya, Physical Review Special Topics-Accelerators and Beams, 6, 091001(2003)
- 5) "Design of a polarized positron source for linear colliders" T.Omori, T.Aoki, K.Dobashi, T.Hirose, Y.Kurihara, T.Okugi, I.Sakai, A.Tsunemi, J.Urakawa, M.Washio, K.Yokoya Nucl. Instr. & Meth. Phys. Res. A500, pp.232-252 (2003)
- 6) "Observation of Incoherent Diffraction Radiation from a Single-Edge Target in the Visible-Light Region" T.Muto, S.Araki, R.Hamatsu, H.Hayano, T.Hirose, P.Karataev, G.Naumenko, A.Potylitsyn and J.Urakawa, Physical Review Letters, Vol.90, No.10, 104801-1 (2003)
- 7) "Status of optical diffraction radiation experiment at KEK-ATF extraction line" P. Karataev, S.Araki, R.Hamatsu, H.Hayano, T.Hirose, T.Muto, G.Naumenko, A.Potylitsyn, J.Urakawa, NIM B, 201 (2003), 140-152
- 8) "Grating optical diffraction radiation-promising technique for non-invasive beam diagnostics" P. Karataev, S.Araki, R.Hamatsu, H.Hayano, T.Hirose, T.Muto, G.Naumenko, A.Potylitsyn, J.Urakawa, NIM B, 201 (2003), 201-211
- 9) "Performance studies of a laser wire beam profile monitor" H.Sakai, Y.Honda, N.Sasao, S.Araki, Y.Higashi, T.Okugi, T.Taniguchi, J.Urakawa, and M.Takano Jpn.J.Appl.Phys.41, (2002) Vol. 41, pp. 6398-6408
- 10) "Measurement of a small vertical emittance with a laser wire beam profile monitor" H.Sakai, Y.Honda, N.Sasao, S.Araki, H.Hayano, Y.Higashi, K.Kubo, T.Okugi, T.Taniguchi, N.Terunuma, J.Urakawa, and M.Takano Physical Review Special Topics-Accelerators and Beams, 5, 122801(2002)
- 11) "Intrabeam Scattering Analysis of Measurements at KEK's Accelerator Test Facility Damping Ring" K.L.Bane, H.Hayano, K.Kubo, T.Naito, T.Okugi, J.Urakawa Physical Review Special Topics-Accelerators and Beams (2002) Volume 5, 084403
- 12) "Extremely Low Vertical-Emittance Beam in the Accelerator Test Facility at KEK" K.Kubo et al. (他 69 名), Physical Review Letters, Vol.88, No.19, 194801-1-4, 2002
- 13) "Impedance analysis of bunch length measurements at the ATF damping ring" K.L.Bane, T.Naito, T.Okugi, Q.Qin and J.Urakawa, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.14 (2001/2002) 197-202
- 14) "Feasibility of optical diffraction radiation for a non-invasive low-emittance beam diagnostics" J.Urakawa, H.Hayano, K.Kubo, S.Kuroda, N.Terunuma, M.Kuriki, T.Okugi, T.Naito, S.Araki, A.Potylitsyn, G.Naumenko, P.Karataev, N.Potylitsyna, I.Vnikov, T.Hirose, R.Hamatsu, T.Muto, M.Ikezawa, Y.Shibata, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 472(2001) 309-317
- 15) "Measurement of an electron beam size with a laser wire beam profile monitor" Hiroshi Sakai, Yousuke Honda, Noboru Sasao, Sakae Araki, Yasuo Higashi, Toshiyuki Okugi, Takashi Taniguchi, Junji Urakawa, and Mikio Takano, PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - ACCELERATORS AND BEAMS, VOLUME 4, 022801 (2001)

### **Project No.A4**

- 1) “EPICS Device/Driver Support Modules for Network-based Intelligent Controllers” J. Odagiri, J. Chiba, K. Furukawa, N. Kamikubota, T. Katoh, H. Nakagawa and N. Yamamoto, KEK, Tsukuba, Japan, M. Komiyama, I. Yokoyama, RIKEN, Wako, Japan, H. Song, IHEP, Beijing, China, Y. Yamamoto, Mitsubishi Electric Co., Kobe, Japan, H. Miyaji, H. Satoh and M. Sugimoto, MCR, Kobe, Japan, ICALEPCS 2003, Geoyongju, Korea, Oct. 10-14, 2003

### **Project No.B1**

- 1) “ACCELERATOR AND PARTICLE PHYSICS. PROCEEDINGS, WINTER INSTITUTE, APPI 2001, MORIOKA, APPI, IWATE, JAPAN, FEBRUARY 20-23, 2001.” Y. Fujii,(ed.) (KEK, Tsukuba),. KEK-PROCEEDINGS-2001-16, Jun 2001. 224pp.
- 2) “PARTICLE PHYSICS EXPERIMENTS AT JLC By ACFA Linear Collider Working Group (Koh Abe et al.). KEK-REPORT-2001-11, Sep 2001.” 457pp. e-Print Archive: hep-ph/0109166
- 3) “ACCELERATOR AND PARTICLE PHYSICS. PROCEEDINGS, 7TH WINTER INSTITUTE, APPI 2002, APPI, IWATE, JAPAN, FEBRUARY 13-16, 2002.” Y. Fujii,(ed.) (KEK, Tsukuba),. KEK-PROCEEDINGS-2002-08, 2002. 249pp.
- 4) “ACCELERATOR AND PARTICLE PHYSICS. PROCEEDINGS, 8TH WINTER INSTITUTE, APPI 2003, APPI, JAPAN, FEBRUARY 25-28, 2003.” Y. Fujii,(ed.) (KEK, Tsukuba),. KEK-PROCEEDINGS-2003-06, 2003. 313pp.

### **Project No.B2**

- 1) “Improved Measurement of Mixing-induced CP Violation in the Neutral B Meson System” Physical Review D66, 071102(R) (2002)
- 2) “Observation of  $c_2$  Production in B-meson Decay” Physical Review Letters, 89, 011803 (2002)
- 3) “Observation of the decay  $B^0 \rightarrow D^{*-} D^{*+}$ ” Physical Review Letters 89, 122001 (2002)
- 4) “Determination of  $|V_{cb}|$  using the semileptonic decay  $B \rightarrow D^{*+} e^-$ ” Physics Letters B 526, 247 (2002)
- 5) “Observation of  $B^{*-} \rightarrow p \bar{p} K^{*-}$ ” Physical Review Letters 88, 181803 (2002)
- 6) “Measurement of Branching Fractions and Charge Asymmetries for Two-Body B Meson Decays with Charmonium” Physical Review D67, 032003 (2003)
- 7) “Search for  $B^- \rightarrow J/\psi \bar{p}$ ” Physical Review D69, 017101 (2004)
- 8) “Measurements of the  $D_{sJ}$  resonance properties” Physical Review Letters 92, 012002 (2004)
- 9) “Search for  $B^0 \rightarrow l^+ l^-$  at Belle” Physical Review D68, 111101 (R) (2003)



### **Project No.B3**

- 1) “PROBING NEUTRINO OSCILLATIONS JOINTLY IN LONG AND VERY LONG BASELINE EXPERIMENTS.” VLBL Study Group H2B-4 (Y.F. Wang et al.).Published in Phys.Rev.D65:073021,2002 e-Print Archive: hep-ph/0111317
- 2) “PROSPECTS OF VERY LONG BASELINE NEUTRINO OSCILLATION EXPERIMENTS WITH THE KEK / JAERI HIGH INTENSITY PROTON ACCELERATOR.” M.Aoki, K.Hagiwara, Y.Hayato, T.Kobayashi, T.Nakaya, K.Nishikawa, N.Okamura Published in Phys.Rev.D67:093004,2003 e-Print Archive: hep-ph/0112338
- 3) “MEASURING CP VIOLATION AND MASS ORDERING IN JOINT LONG BASELINE EXPERIMENTS WITH SUPERBEAMS.” By K.Whisnant, J.M.Yang, B.L.Young Published in Phys.Rev.D67:013004,2003,e-Print Archive: hep-ph/0208193
- 4) “MODELING REALISTIC EARTH MATTER DENSITY FOR CP VIOLATION IN NEUTRINO OSCILLATION.” L.Y.Shan, Y.F.Wang, C.G.Yang, X.M.Zhang, F.T.Liu, B.L.Young,Published in Phys.Rev.D68:013002,2003 e-Print Archive: hep-ph/0303112
- 5) “LIFTING DEGENERACIES IN THE OSCILLATION PARAMETERS BY A NEUTRINO FACTORY” M.Aoki, K.Hagiwara, N.Okamura e-Print Archive: hep-ph/0311324
- 6) “EXCLUSIVE J / PSI PRODUCTIONS AT E+ E- COLLIDERS” K.Hagiwara, E.Kou, C.F.Qiao Published in Phys.Lett.B570:39-45,2003 e-Print Archive: hep-ph/0305102
- 7) “INCLUSIVE J / PSI PRODUCTIONS AT E+ E- COLLIDERS” K.Hagiwara, E.Kou, Z.H.Lin, C.F.Qiao, G.H.Zhu e-Print Archive: hep-ph/0401246
- 8) “SCALAR CHARMONIUM AND GLUEBALL MIXING IN  $E^+ E^- \rightarrow J/\psi X$ ” S.Dulat, K.Hagiwara, Z.H.Lin.e-Print Archive: hep-ph/0402230
- 9) “SIGNAL OF THE PION STRING AT LHC PB - PB COLLISIONS” H.Mao, Y.Li, M.Nagasawa, X.M.Zhang, T.Huang e-Print Archive: hep-ph/0404132

### **Project No.B4**

- 1) “Proceeding of the 10th International Conference on Hadron Spectroscopy Aschaffenburg” Germany, 31 Aug - 6 Sep 2003
- 2) “Proceeding of the International Symposium on Hadron Spectroscopy, Chiral Symmetry and Relativistic Description of Bound Systems” Nihon Daigaku Kaikan, Tokyo, February 24 - 26, 2003,KEK Proceeding 2003-7.
- 3) “Proceedings of the International Workshop on Hadron Spectroscopy and Search for Chiral Particles in J/Psi decay data at BES” KEK, Tsukuba, Feb. 28 - Mar. 1, 2003,KEK Proceedings 2003-10;

## **Project No.C1**

- 1) “Determination of the Topological Shape of Integral Membrane Protein Light-Harvesting Complex LH2 from Photosynthetic Bacteria in the Detergent Solution by Small-Angle X-Ray Scattering Biophys” J. Xinguo Hong, Yu-Xiang Weng, Ming Li, 2004 86:1082-1088.
- 2) “Synchrotron small angle x-ray scattering study of dye-sensitized/-unsensitized TiO<sub>2</sub> nanoparticle colloidal solution 2004 Chinese Phys.” Hong Xin-Guo, Du Lu-Chao, Ye Man-Ping and Weng Yu-Xiang, 13 720-724
- 3) “Principle and Analytical Description of Inside Source Holography” Zhu Peiping, Acta Physica Sinica.
- 4) “Principle and Analytical Description of Inside Source Holography” Zhu Peiping, Wang Jun-Yue, Wu Zi-Yu, Tian Yulian, Jia Quan-Jie, Hu Tiandou, Wu Xiang, Chu Wang-sheng, Li Gang, Xian Ding-Chang
- 5) “HLS new control system” Liu Gongfa, EPICS Seminar, March 4, 2004.
- 6) “Some elementary concepts and principles of hard x-ray phase contrast projection imaging” Zhu Peiping, workshop on hard x-ray phase contrast image, February 17, 2004.
- 7) “Some recent progress in hard x-ray phase contrast imaging” Li Gang, workshop on hard x-ray phase contrast image, February 17, 2004.
- 8) “XAFS studies on adsorption-desorption reversibility at manganese oxide-water interfaces II” Xianliang Li, Gan Pang, Yanwen Qin, Tiandou Hu, Ziyu Wu, Yaning Xie, Reversible adsorption of zinc on MnO<sub>2</sub> J. Colloid and interface Science 271(2004) 35-40.
- 9) “Organic acids promote the uptake of lanthanum by barley roots submitted to plant physiology” Fang Han, Xiao-quan Shan, Jing Zhang, Ya-ning Xie, Zhi-guo Pei, Shu-zhen Zhang and Yong-guan Zhu
- 10) “Investigation of zinc containing peptide deformylase from Leptospira Interrogans by X-ray absorption spectroscopy” Shujiun Li, Zhaocai Zhou, Wangsheng Chu, Weimin Gong, Maurizio Benfatto, ingchang Xian and Ziyu Wu, submitted to J.Syn.Rad.
- 11) “Preliminary XAS studies on a hemorrhagic zinc-metalloproteinase from Agkistrodon acutus venom” Zhao Wei, Li Shujun, Chu Wangsheng, Niu Liwen, Teng Maikun, Hu Tiandou, Xie Yaning, M. Benfatto and Wu Ziyu submitted to J.Syn.Rad.
- 12) “过渡金属二硼化物的XAFS研究” 储旺盛, S.Agrestini, A.Biancon, 买买提依明, 胡天斗, 谢亚宁, 刘文汉, 吴自玉, 高能物理与核物理, 27卷(增刊), 10 (2003年12月)
- 13) “一种蛇毒金属蛋白样品的XAS研究” 李树军, 赵伟, 储旺盛, 牛立文, 滕脉坤, 胡天斗, 谢亚宁, 吴自玉, 高能物理与核物理, 27卷(增刊), 19-22 (2003年12月)
- 14) “北京同步辐射1W1B XAFS 的实验控制系统” 刘涛, 谢亚宁, 胡天斗, 全国第三届同步辐射学术年会, 上海, 2003.11
- 15) “X射线滤光片的研制全国第三届同步辐射学术年会” 张静, 侯凯, 谢亚宁, 胡天斗, 刘涛, 上海, 2003.11.
- 16) “用于大尺寸样品的同步辐射硬X射线衍射增强成像方法研究” 袁清习, 田玉莲, 黄万霞, 王寓越, 朱佩平, 胡天斗, 姜晓明, 吴自玉, 全国第三届同步辐射学术年会, 上海, 2003.11
- 17) “High-resolution angle-resolved resonant-photoemission spectroscopy of Fe<sub>x</sub>TiTe<sub>2</sub>:Doping dependence

- of the Fermi surface*” K. Yamazaki, K. Shimada, H. Negishi, F. Xu, A. Ino, M. Higashiguchi, H. Namatame, M. Taniguchi, M. Sasaki, S. Titova, A. Titov, Yu. M. Yarmoshenko, to be submitted to Phys. Rev. B
- 18) *“High-resolution angle-resolved resonant-photoemission spectroscopy of  $\text{Fe}_x\text{TiTe}_2$ ”* K. Yamazaki, K. Shimada, H. Negishi, F. Xu, A. Ino, M. Higashiguchi, H. Namatame, M. Taniguchi, M. Sasaki, S. Titova, A. Titov, Yu. M. Yarmoshenko, Accepted by Physica B.
  - 19) *“Photoemission Study of Valence Band Dispersions in Charge Density Wave Material 1T-TaS<sub>2</sub>”* Masashi ARITA, Hiroshi NEGISHI, Kenya SHIMADA, Faqiang XU, Akihiro INO, Yukiharu TAKEDA, Kentaro YAMAZAKI, Akio KIMURA, Shan QIAO, Saiko NEGISHI, Minoru SASAKI, Hirofumi NAMATAME, Masaki TANIGUCHI, Accepted by Physica.
  - 20) *“Soft X-ray absorption spectra of Mn nanoclusters”* T. Xie, A. Kimura, S. Qiao, M. Taniguchi, M. H. Pan, J. F. Jia and Q. K. Xue, Accepted by Physica B.
  - 21) *“Fabrication of Co Nanoclusters on Si(111) surface”* Tian Xie, Akio Kimura, Shan Qiao, Tsutomu Moko, M. Taniguchi, M. H. Pan, J. F. Jia and Q. K. Xue, Accepted by Journal of Physics: Condensed Matter.
  - 22) *“Temperature dependence of valance and core-level photoemission spectra of 1T-TaS<sub>2</sub>”* H. Negishi, S. Negishi, M. Arita, K. Shimada, F. Xu, M. Higashiguchi, A. Ino, Y. Takeda, K. Yamazaki, A. Kimura, S. Qiao, H. Namatame, M. Taniguchi, M. Sasaki, Presented at 59th Annual Meeting of the physical society of Japan.
  - 23) *“The preparation and characterization by SR of Al cluster on Si(111)”* Zhang Wenhua, Xie tian, Qiao Shan, Su run and Xu Faqiang, To be submitted to The Chinese Journal of Chemistry and Physics.

#### Internal Report

- 1) *“Report of Machine Study on Nov.5”* Lu Ping, November 7, 2004.
- 2) *“PBPM Response Matrix Computation”* Lu Ping,
- 3) *“Report of Success in the pre-study of Hard X-ray XMCD”* Tao Ye, March 22, 2004.
- 4) *“硬X射线相位衬度成像的原理”* Zhu Peiping, 方法和进展, Aug.18, 2003.
- 5) *“成像的一些基本概念和X射线相衬投影成像的原理”* Zhu Peiping, Feb.17, 2004
- 6) *“X射线相衬二阶导数成像原理”*, Zhu Peiping, Apr.16, 2004.
- 7) *“访日工作汇报”* Li Gang,
- 8) *“Bremsstrahlung small ring”* Li Gang,
- 9) *“resolution tunable Diffraction Enhanced Imaging and LLL interferometer”* Li Gang
- 10) *“北京同步辐射装置生物大分子晶体学线站试运行取得可喜进展”* Dec.19, 2002.
- 11) *“1W1B光束线及EXAFS实验站建造成功并对用户开放”* Sep.9, 2004.
- 12) *“硬X射线相位衬度成像取得新进展”* Dec. 9, 2003
- 13) *“同步辐射相衬成像研讨会在北京召开”* Feb. 29, 2004
- 14) *“BSRF为我国自主开展高难度蛋白质结构解析工作提供先进的实验平台”* Mar. 21, 2004

#### Doctoral thesis

- 1) In doctoral thesis of Mamatimin Abbas, the experimental results and discussions for the inverse photoemission measurements of graphite carried out in Hiroshima Synchrotron Radiation Center are included.

## **Project No.C2**

- 1) "The Design of a Variable Elliptically Polarized Undulator for the Coherent THz Light Source" (1D-p84) contributed to the conference will be published in the IEEE Trans. Zhou Qiaogen, on Applied Superconductivity in the June issue of 2004.
- 2) "Vacuum System Design for the SSRF 3.5 GeV storage Ring" D.K.Jiang, L.X.Yin et al, The Second Asian Particle Accelerator Conference, Beijing, China, Sept.17-21, 2001.
- 3) "The Vacuum Chamber for the SSRF Storage Ring" L.X.Yin, D.K.Jiang et al, The Second Asian Particle Accelerator Conference, Beijing, China, Sept.17-21, 2001.
- 4) "Design and Fabrication of the SSRF photon Absorbers" D.K.Jiang, L.P.Chen et al, The Second Asian Particle Accelerator Conference, Beijing, China, Sept.17-21, 2001.
- 5) "Aluminum Alloy Vacuum Chambers for SSRF" Lixin Yin, Dikui Jiang, Hanwen Du, Proceedings of the Shanghai Symposium on Intermediate Energy Light Source, Sept.24~26, 2001, Shanghai, China.
- 6) "Machining of the prototype aluminum alloy chamber of SSRF storage ring" Du Hanwen, Yin Lixin, Jiang Dikui, et al, Vacuum (China), No.1, 37~41, 2002.
- 7) "Design of vacuum system and development of vacuum chamber of SSRF booster" Wang Zhishan, Jiang Dikui, Chen Liping, et al, Vacuum (China), No.1, 42~45, 2002.
- 8) "Pumping Characteristics of NEG In Mixture Gas" Chen Liping, Jiang Dikui, Shanghai Institute of Nuclear Research.
- 9) "A  $10^{-10}$  Pa PUMP COMBINED BY SIP AND NEG" Jiang Dikui, Chen Liping, Yin Lixing, Shanghai Institute of Nuclear Research, Shanghai 201800.
- 10) "Performances and Applications of Non-Evaporation Getter" Jiang Dikui, Chen Liping, Shanghai Institute of Nuclear Research.
- 11) "Development of RF Shielding Bellows for SSRF Storage Ring" Jiang Dikui, Jiang Xiaoli, Shanghai National Synchrotron Radiation Center, Shanghai 201800.
- 12) "Phase servo tuner control system of SSRF 500MHz cavity" Wang Fang, Lu Jianfa
- 13) "IQ Technique Research in Accelerator Phase Detector Error and Experimental Method" Wang Fang, Zhang Jianbin, Zhao Yubin,