

大阪大学核物理研究センター研究計画検討専門委員会議事録

日時：2010 年 12 月 22 日（火）10:00－17:00

場所：核物理研究センター本館 2 階会議室

出席者：

- ・委員：上坂（東大 CNS、委員長）、若狭(九大、幹事)、川畑（京大理）、阪口（阪大理）、秋宗（甲南大理）、延與(京大理)、萩野（東北大理）、萩尾（大阪市大理）、山本（大阪市大理）、高宮（京大原子炉）、民井(RCNP)、保坂(RCNP)、與曾井(RCNP)、オン・フィージン（RCNP）、福田（RCNP、幹事）
- ・センター長：岸本(RCNP)
- ・研究企画室：畑中(RCNP)
- ・研計委要請：能町（阪大理）、池上（ウプサラ大）

欠席者：

- ・委員：小林（東北大理）、菅沼（京大理）、中田（千葉大理）

配布資料：

議事次第

- （資料 1） Letter of Intent 「Reaction particle breeding test towards a new reactor」
- （資料 2） 今年度の PPAC の活動について
- （資料 3） 世界の加速器施設の動向調査：ハドロンマシン
- （資料 4） H22 年度研究会（前期・後期）報告書（6 件）
- （資料 5） 研計委委員選出と交代に関するガイドラインの改定（案）
- （資料 6） 前回議事録（案）

[1] 報告事項

1. 一般報告（概算要求、人事、将来計画など）（センター長：岸本）

岸本センター長より、予算関連では、サブアトミック科学研究拠点の H23 年度運営経費が 2 千万円程減額になる見込みであること、H24 年度概算要求の情勢も厳しく、大学で重点化した項目（光科学、イメージング、グリーンイノベーション）に上手く乗せることが求められていること、H24 年度概算要求では MUSIC のミュオン輸送部分が主になることなどが報告された。人事関連では、理論部の教授に保坂氏（RCNP）が 9 月に着任したこと、それに伴い、准教授の公募を開始したこと、拠点化に伴う特任助教の人事では、陽子ビーム強度増強のために植田氏、CANDLES 推進のために梅原氏、LEPS 推進のために郡氏が着任したこと、残りの 1 名は実験系の教授人事が決まるまで保留とすることなどについて報告があった。また、将来計画については、学術会議で審議されている大型プロジェクトへのタマ出しが重要であることから、核物理委員会での議論も踏まえ、サブアトミック

科学を柱に据えた中期計画の範囲内で発展させる形で二重ベータ崩壊実験のための ^{48}Ca 同位体濃縮技術の開発、MUSIC 計画のミュオン引き出しビームライン整備、UCN を用いた EDM 研究、MUSIC 計画のための新入射器の導入とビーム強度増強を中心とした 50 億円規模のプロジェクトを学術会議に提案したこと、LEPS2 は東北大の光科学プロジェクトと合体させる形で共同提案していることなどが報告された。なお、学術会議に提案したプロジェクトの内容については、次回の研計委で詳しく説明する予定。

2. 原子核実験施設と RCNP の統合について (能町 阪大理)

サブアトム科学的研究拠点形成において前提とされている理学研究科附属原子核実験施設と RCNP の統合について、阪大理の能町氏より進捗状況が報告された。その中で、元々、阪大内の原子核研究施設が 2 つあることにより生じている予算要求等での弊害を解消し、サブアトム科学的研究拠点の枠組みの中でそれぞれの役割分担を明確にした上で発展的に統合するのが目的であること、組織として人員や研究の幅を拡大するという点でも重要であることなどが説明された。現在、理学研究科内のプロジェクト推進の母体として「基礎理学研究推進センター」を新たに設立する方向で検討が進められており、サブアトム科学的研究拠点の計測器開発を担う部署がその中で位置付けられるように提案中であること、全国共同利用研の重要な役目である原子核物理の教育拠点としても位置付けたいこと、理学研究科・RCNP・核運委・研計委などの意見を取り込んで将来の発展につながるような形での統合を目指していること、豊中地区のアクティビティを特色あるものにしたことなどについても説明があった。

これに対し、統合の理念を明確にした上で RCNP としての組織が拡大する点においては好ましいことであるが、教育と研究の役割分担を明確にしようとする理学研究科内の原子核研究基幹講座の存在意義が問われるなどの指摘があった。

3. Letter of Intent 「Reaction particle breeding test towards a new reactor」 (池上 ウブサラ大)

ウブサラ大の池上氏より、(資料 1) に基づいて「Reaction particle breeding test towards a new reactor」に関する報告があった。それに対して質疑が行われ、次のような意見が出された。

- ・萌芽的な研究テーマとして興味深いが、物理の議論や実験としての confirm が必要
- ・RCNP で実験を行いたいという要求に対しては、RCNP 側でどのようなサポート（人員やスペースなどを含む）が可能かを十分に検討すべき
- ・RCNP で実施される場合には、feasibility を見定めるために 1~2 年経過した時点で報告を求めるべき

4. RCNP 各部報告

4. 1 サイクロトロン加速器の現状報告 (畑中 RCNP)

RCNP の畑中氏より、サイクロトロンの運転状況、陽子ビーム強度増強に向けた 2.45GHz ECR 陽子源の開発状況、AVF サイクロトロンのビーム引出部の改良などについて報告があった。その中で、陽子源については、引出電極部の改造により耐久性を向上させたこと、2kW マイクロ波電源の導入によ

るパワー増強などが進められていること、AVFサイクロトロン引出部においてはビームの軌道と拡がりを確認するために既存のファラデーカップを活用したビームプロファイル測定を試みていること、トラブルでは AVF サイクロトロンのバレーコイル冷却水の漏れにより真空リークが発生したことなどが説明された。また、陽子ビーム強度増強に向けて新しい入射器の検討に着手したことなども報告された。

5. 平成 22 年度研究会報告 (福田幹事 RCNP)

福田幹事より、(資料 4) に基づき、平成 22 年度に開催された研究会 (6 件) に関して報告があった。

a) 「Fundamental Physics Using Atoms 2010」

開催日：2010 年 8 月 7～9 日

開催場所：大阪大学・豊中キャンパス・シグマホール (基礎工学部国際棟)

参加者：94 名 (国外 3 名、国内 91 名)

b) 「少数粒子系物理の現状と今後の展望」

開催日：2010 年 8 月 20～21 日

開催場所：福岡国際会議場

参加者：約 70 名

c) 「重イオン蓄積リングの物理」

開催日：2010 年 9 月 24～25 日

開催場所：RCNP

参加者：約 40 名

d) 「RCNP における核医学プログラム展開の可能性」

開催日：2010 年 9 月 29 日～10 月 1 日

開催場所：RCNP

参加者：54 名

e) 「核構造の真の理解に向けて—テンソル力と高運動量成分—戦略会議」

開催日：2010 年 11 月 25～26 日

開催場所：RCNP

参加者：約 30 名

f) 「Baryons10」

開催日：2010 年 12 月 7～11 日

開催場所：大阪大学コンベンションセンター

参加者：176 名

6. その他

特になし

[2] 協議事項

1. 研計委委員選出と交代に関するガイドラインの改定について

前回の研計委における、原子核実験・理論分野のセンター外委員の再任を連続2期まで認めるという決定を受け、「研究計画検討専門委員会委員選出と交代に関するガイドライン」の改定(案)(資料5)について審議が行われ、次の下線部を追記することが承認された。

- ・センター外の核物理実験系および核物理理論系の委員は、2期までの再選を妨げない。但し、2期目の任期終了後1年間は再選されない。その他の委員は再選を妨げない。

附則

- 1 このガイドラインの改正は、平成22年8月10日から施行する。

2. 核反応データ整備に係るミニワークショップ開催について

核反応データ整備に関わっている複数の研究機関が有機的に連携し、戦略的に核反応データを取得していくためのミニワークショップの開催について上坂委員長から説明があり、先日、九大と原子力機構が共同で開催したワークショップの結果なども踏まえ、関係者の間で内容を調整した上で半年以内を目処にミニワークショップを開催したい旨、提案があった。これに関連して、RCNPの畑中氏からは、最近、韓国ポハンで開催されたJAAWS(Joint Asian Accelerator Workshops)においてもアジア諸国の核データへの関心は高いこと、中性子の核データについては低エネルギーから高エネルギーまで幅広く整備が求められており、役割分担を明確にしてデータを取得していくべきことなどのコメントがあった。開催予定のミニワークショップにおいては、RCNPがカバーするエネルギー領域の荷電粒子及び中性子の核データを中心に議論する方向で了承された。

3. 将来計画について

3.1 世界の加速器施設の動向調査

3.1.1 ハドロン (阪口 阪大理)

阪大理の阪口氏より、国内外のハドロン加速器施設の現状とプロジェクトの動向について報告があった。現時点では、J-PARCがハドロン物理の先導的な役割を担っており、ハドロン2次ビーム、ニュートリノ、高運動量陽子などの物理を目指している。国外のハドロン加速器施設では、GSIのFAIR計画、BNLのRHIC-IIやeRHIC(e-A コライダー)、中国蘭州の重イオン・クーラーリング、中国原研の原子炉を用いたRIビーム施設などのプロジェクトが進行中あるいは計画されている。具体的には、GSIのFAIR計画では、多彩な高エネルギー重イオン・陽子加速器群を整備し、重イオン衝突、超重核元素、mesonic nuclei、p-barなどの物理を目指している。COSYでは2.88GeV陽子ビームを用いたストレンジネスや η -mesonic nucleiなどの物理が特徴。

従来、コライダーは単目的で作られていたが、固定ターゲットのように高いルミノシティで多目的なものができるのであれば大変面白い。エキゾチック・ハドロン物理はB-factoryに代表されるようにlepton/photonマシンが主流。中間子-原子核物理では π -mesonic nuclei以外は最適な生成反応が確立していないものの、固定ターゲットならば数~100GeVのエネルギー領域のビームが必要。バリオン-原子核物理用としてはJ-PARCやGSIなどに代表されるようになり高いエネルギーの加速器

が必要で、重イオンビームによる生成は数例、陽子ビームではまだ成功していない。高エネルギー重イオン衝突物理は LHC や RHIC が代表的。

3. 1. 2 大強度陽子 (福田 RCNP)

RCNP の福田幹事より、大強度陽子加速器施設の現状とプロジェクトの動向について報告があった。大強度陽子加速器の開発は、中性子・パイオン・ミュオン・ニュートリノ・RIB などの 2 次粒子ビーム強度増強が主目的であり、素粒子・原子核物理以外の用途として加速器駆動型未臨界炉 (ADSR) や核変換消滅処理などを旨とした 10MW 以上のハイパワーマシンの開発も進められている。PSI では最近 $590\text{MeV} \times 2.2\text{mA} = 1.3\text{MW}$ の加速に成功し、パイオン/ミュオンや中性子を利用した多分野の研究が行われており、3mA、1.8MW のゴールに向けて開発は進行中である。TRIUMF でも 500MeV の陽子ビーム強度を $400\mu\text{A}$ (0.2MW) まで増強するプロジェクトが進行中であるほか、ISAC-II (50kW 超電導 LINAC) や ARIEL (10mA、50MeV 電子 LINAC) による RI ビーム生成も目指している。

3. 1. 3 不安定核 (上坂委員長 東大 CNS)

東大 CNS の上坂委員長より、不安定核ビーム施設の現状と将来計画について報告があった。世界各地で新たな RI ビーム施設の建設・整備計画が多数、進行中、或いは提案されており、主なものは次の通り。最も先行している理研の RIBF では、多種粒子測定装置 SAMURAI や不安定核標的 SCRIT などが数年以内に動き出す予定。アジアでは、中国蘭州の HIRFL や CAEA の原子炉で RI ビーム利用に向けた施設拡張が進められている他、韓国では大規模で野心的な KoRIA 計画が提案されている。欧州では、GSI の FAIR、GANIL の SPIRAL2、CERN の HIE-ISOLDE が進行中。特に FAIR では、1.5GeV/u の 238U ビーム強度の増強 (従来の 100~1000 倍) と U ビームの高エネルギー化 (~34GeV/u) などが計画され、e-A collision や重イオン衝突、p-bar などをはじめとした多彩な物理の展開を目指している。GANIL の SPIRAL2 計画では、数十 MeV/u まで加速できる超電導ライナックを新規に建設し、一次ビームを用いた超重元素だけでなく、UC ターゲットで生成した不安定核を既存のサイクロトロンで再加速することも想定しており、第 1 期までは予算が認められている。長期的には CERN の HIE-ISOLDE と共に EURISOL (予算~1.3B ユーロ) に統合され、 ^{132}Sn などの不安定核を 150MeV/u まで加速する予定。北米では、MSU の FRIB、TRIUMF の ARIEL、ANL の CARIBU などの計画があり、特に FRIB では、超電導ライナックで加速した 200MeV/u の U ビームなどを用いて核破砕反応により不安定核を生成し、そのまま利用、He ガスで減速させて利用、さらに多価イオンにして再加速した RI ビームを利用することも計画している。

3. 1. 4 電子 (與曾井 RCNP)

RCNP の與曾井氏より電子加速器施設の現状と将来計画について報告があった。電子加速器施設では、加速器の性能のみならず、検出システムにどのような特徴を出せるかが key になる。第 4 世代に位置付けられる JLab では、6GeV、 $270\mu\text{A}$ の電子ビームや偏極ビームが利用可能だったが、現在は、12GeV にアップグレードするプロジェクトが進行中で、実験ホールも拡張予定。JLab 以外の施設では tagged photon と crystal ball を組み合わせたものが主流だが、新しい原子核・ハドロン物理を目指すプロジェクトが計画されているところはない。Duke 大学では FEL との組み合わせで低エネルギー

ギー光子を原子核共鳴や天体核物理などに利用している。放射光を用いた逆コンプトンガンマ線の利用は Spring-8 やニュースバルなどが先行。RI ビームとの組み合わせによる e-A コライダーも出始めている。

3. 1. 5 蓄積リング (川畑 京大理)

京大理の川畑氏より、重イオン蓄積リングの現状と将来計画について報告があった。現在、稼働中の重イオン蓄積リングは、GSI の ESR と中国蘭州の CSR のみで、stochastic cooling や electron cooling と組み合わせた schottky 法及び isochronous 法による不安定核の質量分析と β 崩壊の寿命測定が主たる物理。ESR では、重イオンを減速・トラップして質量測定を行う装置 HITRAP により QED の検証を行うなど、原子物理も併せて行われている。シンクロトロンを 2 台、蓄積リングを 4 台装備する FAIR 計画においても、より重い不安定核の質量分析や β 崩壊寿命測定が行われる他、逆運動学の直接反応や e-A 散乱による物理も実施される予定。予算規模は約 1200M ユーロ (加速器本体は 530M ユーロ)。

RCNP の将来計画の一つの選択肢として検討を進めている蓄積リングの案では、ライナックを入射器としてリングサイクロトロンで加速した大強度のパルスビームを用いて不安定核を生成し、それを蓄積・加減速・冷却するリングと後続の実験専用蓄積リングを想定している。これにより、FAIR と同様に schottky 法を用いた質量分析や β 崩壊寿命測定が行える他、全反応断面積測定、磁気モーメント測定、非弾性散乱の高分解能測定などの新たな提案も出されている。加えて、インディアナ大では実現されなかった奇数中重不安定核の精密測定などにもこの蓄積リングは有用である。また、他にはない初めての試みとして、不安定核ビームの衝突リングの提案もあり、数十マイクロオーダーのビームサイズでの衝突により、 $10^{24}\sim 10^{26}$ オーダーのルミノシティが期待されることが示された。また、一次ビームの加速と、不安定核生成用内部ターゲットによるエネルギー損失をリカバリーする機能を兼ね備えた新しい概念の FFAG (MERITS:Medium Energy Rare Isotope Transfer and Separator) の提案も行われ、1 バーン程度の全反応断面積を仮定すると、1000~2000 ターン程度周回させることにより一次ビームを全て核反応で使い切ることができ、核反応の収量が 50 倍に上げられること、薄いターゲットを用いることにより低エネルギー RI ビームの生成も可能になることなどの利点が明らかにされた。

3. 2 将来計画についてのコメント—RCNP 内部より— (民井 RCNP)

RCNP の民井氏より、従来、RCNP が得意とする励起状態の精密核分光を発展させた「High resolution spectroscopy of proton-rich unstable (and stable) nuclei with light-ion reaction」をベースとするプロジェクトの可能性について報告があった。リングサイクロトロンの新入射器整備計画に基づき、既存の AVF サイクロトロンで得られる大強度の軽イオンビームを用いて fusion reaction により寿命の比較的長い陽子過剰不安定核を生成し、それを分離して $10\ \mu\text{m}$ 程度の小さなスポットを形成してターゲット物質 (固体水素や、金、 CH_0 など) に注入。さらに、新入射器とリングサイクロトロンにより加速した高強度の軽イオンビームをその不安定核ターゲットまで輸送し、 $10\ \mu\text{m}$ の小さなスポットを形成してルミノシティを高め、既存の Grand-RAIDEN や LAS を用いて高分解能測定を行うというもの。1pA 程度のビーム電流を $10\ \mu\text{m}$ くらいに集束させると、1mb/sr の反

応断面積では1000sec 当たり1 イベントの収量が Grand-RAIDEN で期待される。不安定核の寿命との兼ね合い、バックグラウンドの低減、S/N の向上などが課題。大立体角の高速同時計測検出器や、偏極RI ターゲットと偏極軽イオンビームの組み合わせによる反応を用いた実験なども期待される。

3. 3 議論

以上の動向調査や将来計画に向けた検討の報告などを踏まえ、議論が行われた。そこで出た主な意見は次の通り。

- ・精密核物理は我々にとって大変興味深いですが、他分野の人たちからも広く賛同を得るためには、何を狙っているかをわかりやすくアピールすることが必要。
- ・科学的な見地で目標を明確にし、他の施設にはない、魅力ある加速器施設の実現により新たに開拓できる領域を目指すべき。つまり、他に優るような加速器・実験装置と物理の両立が重要。
- ・理論の観点では、例えば、 ω 中間子交換、 π 中間子交換、 σ 粒子交換などに関して未解決の問題が残されており、それらを追求するような将来計画の方向性が打ち出せないか。その際、「中間子なのか、クオークなのか」といったわかりやすいキーワードでアピールするのが効果的。「多体効果として現れる多様性」もホットな話題。
- ・蓄積リングは、誰も手を付けていない領域や既に探求をやめた領域を開拓する可能性を秘めている。
- ・安定核の実験テクニックを不安定核に応用し、発展させるべき。高精度精密核物理は RCNP の売りであり、安定核近傍の陽子過剰核などに対象を拡張するのは他ではやられていない方向性。
- ・実験精度の向上とともに、実験結果を裏付ける理論計算の精度を上げる努力も必要。実験精度をどこまで上げるかは程度問題だが、理論と実験の差を厳密に議論できるようになれば、狙いを定めて実験精度を向上させる価値が高まる。
- ・数十 MeV/u の不安定核ビームは魅力的。FRIB や SPIRAL2 に優るような物理を具体化して進める方向もあるが、明らかに他の施設と競合するような領域では予算が通りにくいいため、新しい切口が必要。不安定核の質量測定などは主テーマになりにくい。
- ・従来とは異なる視点でのアプローチが必要。これまでにやってきたこと、やられていないことの整理が必要ではないか。核子多体系の問題は、まだ理解されていないことが多い。
- ・ハドロン物理を主体にして J-PARC を超えるような大規模な施設を要求するのはあまり現実的ではないが、ハドロン物理のある部分を担えるような COSY クラスの中規模な加速器施設なら RCNP でも可能。どういう新しい道具を持つかが鍵になる。コアになるテーマだけではなく、拡張性を持たせることも重要。
- ・他の施設との直交性は必要。一次ビームだけでなく、二次ビームの質も上げることにより他との差別化は可能。

以上の議論を踏まえ、次回の P-PAC においては、以下の項目を念頭に審議を行うこととなった。

- ・将来計画で目指す方向性のキーワードを整理し、装置としてどこで勝負するのかを明確にする。必要に応じて研究会などを企画する。
- ・勝負すべき物理の内容とテクニカルな課題を検討するワーキンググループなどを立ち上げて、

23年度内に Letter of Intent をまとめられるように準備を行う。

- ・並行して行われている「日本の核物理の将来」精密核物理 WG での議論も参考にしていく。

4. 前回議事録承認

2010年8月10日に開催された研計委の議事録（案）（資料6）を承認した。

5. その他

5. 1 次回の研計委開催日程に関して

次回の研計委については、2011年度の新委員が決まり次第、日程調整を行うことになった。