

平成9年3月26日

中性子科学研究計画検討委員会
委員長 西川 哲治 殿

加速器専門部会
部会長 山崎 良成

中性子科学研究計画における加速器開発に関する技術評価について
(報告)

平成8年12月19日第1回中性子科学研究計画検討委員会において委員長より検討
依頼のあった標記のことについて、別紙のとおり報告します。

別紙

加速器専門部会報告

1. 本計画の特徴と重点開発項目

本計画は、放射性廃棄物消滅処理の工学試験と中性子散乱実験の両者を主目的とする、世界に類を見ない新しい大強度中性子源を目指すものである。放射性廃棄物消滅処理の研究が連続ビームを指向しているので、電力の節約および連続ビーム・リニアックのコンパクト化という観点から、超伝導リニアック以外に選択の余地はないと思われる。すなわち、その実現にとって最も重要な技術的課題は、超伝導高エネルギーリニアックの開発である。したがって、最初からこれを目的とした開発研究に重点的に取り組むべきである。

[補足説明]

現在大強度高エネルギー陽子加速器計画としては、我が国の大型ハドロン計画 (JHP) を始めとして、欧州のヨーロッパ核破砕中性子源 (ESS) 計画、米国の国立核破砕中性子源 (NSNS) 計画がある。本計画は当初 JHP クラスの 1 MW、将来的には ESS クラスの数 MW の中性子源を目標としている。超伝導リニアックの採用によって、潜在的にはさらにその上を行きうるすぐれて先駆的にして先見的な計画と位置づけることができる。超伝導リニアックを陽子リニアックに本格的に利用するのは本計画において以外にはないので、これがもっとも重要な開発項目となる。現在既にこの方向で超伝導リニアックの開発に着手しているのは評価できる。

2. 超伝導リニアックの研究開発方針

超伝導加速空洞構造・加速周波数については、ビーム力学の観点からは勿論のこと、空洞の量産とその表面処理も含めた品質管理、ブレイク・ダウンおよびクエンチングの回避、冷凍機の製造・運転およびその費用、超伝導材料の照射損傷・残留放射能の問題等、技術的観点も踏まえて最適な方式を選択するべきである。超伝導加速空洞の開発は、これらのための基礎データを取得するという位置づけがなされねばならない。

また、従来超伝導加速空洞構造で想定されている π モード運転で、大きなビーム負荷お

よびパルス運転に対してもビーム損失の観点から十分な電場安定性が得られるかについて、ビーム試験をも含む検討が必要である。特に、 $\pi/2$ モード運転の必要性は十分に考慮するべきである。

3. 研究開発体制と人材の育成

本計画のように先駆的にして大規模な計画においては、内外の研究機関・大学・産業界との相互協力は不可欠なものであり、協力が得やすい環境作りに努力するべきである。また創造的にして科学的な精神に富んだ人材育成は特に重要であり、その観点から大学等研究教育機関への共同研究等を通じた支援など、抜本的な手段を講ずる必要がある。さらに、このような加速器の開発研究、建設、運転にあたっては、ビーム力学等の加速器物理学ばかりでなく、高周波技術、超伝導技術、真空技術、冷却技術等を含む広汎な加速器関連技術者の養成に特に意を用いねばならない。

一方ではしかし、本計画を契機として、加速器科学・技術に関して多くの優秀な人材が育成されると期待され、そのような観点からも本計画のような先駆的な計画の重要性が指摘される。

[補足説明]

例えば、高エネルギー物理学研究所 (KEK) は、TRISTAN において世界で最初に大規模な超伝導加速を行うとともに、超伝導空洞の基礎的研究開発において常に世界を先導してきた。現在、本計画のための超伝導空洞研究開発において、KEK の超伝導空洞グループと実質的にして密接な共同研究を推進し、その実を上げていることは高く評価できる。また、ビーム力学上の諸問題においても共同研究を同様に推進している。このような共同研究の更なる推進を支援する環境作りに努力するとともに、他の大学等研究教育機関との研究協力にも輪を広げるべきである。併せて、各大学でも加速器科学分野における人材の養成に努め、全日本規模で計画を支援する必要があると考える。また、原研内部は勿論のこと KEK の人材も JHP とのタイム・スケジュールを調整して、最大限活用出来ることが不可欠である。

4. 他の研究開発項目とその方針

本計画のような大規模な計画においては、超伝導リニアックの他にも多くの開発項目が存在する。なかでも、リニアック低エネルギー部の開発研究およびリングの設計研究は、ビーム損失の観点からも重要であると考えられる。

ビーム損失の低減のためには低エネルギー部でエミッタンスの良いビームを作り出すことが重要である。低エネルギー部の研究・開発においては、加速周波数の異なる京都大学化学研究所（京大化研）やKEKの試験機のビーム試験結果と、原研で開発中の試験機のそれとを詳細に比較し、高エネルギー部のパラメータとの整合性を十分に勘案しながら、最適な低エネルギー部の方式を決定すべきである。そのため、各研究機関の協力を得て、こうした問題に関して今後早急に定量的な詰めを行い、それぞれの周波数における限界性能を明らかにすることが急務であるとする。

5. 建設方針とスケジュールについて

本計画が目標とするビーム出力は現有加速器の世界最大出力の数 10 倍に相当することから、現在の加速器科学・技術の延長線上では解決できない多大の困難が予想される。したがって、建設段階においてもパラメータの変更を含む柔軟な対応が可能な方針を策定する必要がある。

このような観点から、段階的にビーム出力を増強するという方針は妥当なものである。その際、ビーム電流のみでなく、リニアックのビーム・エネルギーに対しても段階的に増強するべきであるとする。すなわち、加速器の製作・据え付けの各段階（エネルギー）においてビーム加速試験を行い、小電流から大電流まで空洞、高周波系および冷凍機等が期待通りに作動し安定に加速できることを確認することが重要である。このようにして、超伝導空洞を用いた大電流パルスビーム加速における高周波制御あるいはビームハロー等の重要な問題を、早い段階で実機を用いて研究し、解決を図ることが必要である。

さらに、先行する JHP の加速器の研究開発・建設・運転の結果を可能な限り利用するとともに、加速空洞のビーム試験等にも活用すべきである。特に、JHP より一回り大きな性能を狙うためには、ビーム損失のメカニズムについての実験的研究がより必要となる。従来実験的検証が不十分であるリニアックにおけるハロー生成によるビーム損失の問題、またリング入射時のビーム損失の問題について、JHP の加速器を利用して理論計算の精度を十分に高め、加速器パラメータの最適化を行うことが望まれる（従来の加速器では、入射器のリニアックにおいて古い方式を採用しており、必要とする研究を行うことが難しい。）

このように、建設開始後においてもビーム試験を含む研究開発を平行して行い、あわせて人材育成にも役立てるとともに、柔軟にパラメータの変更も可能ならしめる方針を採るよう強く勧告する。その際、段階的建設が研究開発および人材育成の一環であるとい

う観点も必要である。現在想定されている建設スケジュールで、目標とする性能を達成することは、現状の加速器技術力及び研究体制のままでは困難であると思われる。

6. ビーム損失による加速器の残留放射化に対する方針

本計画のような大出力陽子加速器の開発の成否は、ビーム損失による残留放射化低減の程度、あるいは、長期運転により放射化された機器の保守の容易さによって左右される。そのため、加速器の設計を最適化してビーム損失を最少に減らすよう設計をするだけでなく、運転時の保守計画を事前に十分検討して放射化対策を考慮した機器設計とする必要がある。線形加速器やリングの一部には放射化が必然の所や、むしろ、あえて放射化させた方が有効な所もある。このような部分を作ることによって、超伝導加速器や他の部分のハンズオンメンテナンスを可能とするように考慮するべきである。ハロー・コレクター、アポート部、ビームダンプ、加速器トランジション部、リングの入出射部など放射化が予想される場所は、できるだけ放射化部を局在化するように設計するべきである。また、その部分を保守不要とするか、あるいは、必要なところは逆に機器交換方式を取り入れた機器設計とし、遠隔操作器や遮蔽された保守室を準備するなど保守計画の万全を期するべきである。

7. 加速器のスキームおよび各基本パラメータについて

7. 1. 利用目的と加速器の性能およびスキームについて

本計画は、放射性廃棄物消滅処理の研究および中性子散乱実験の両者を主目的とする。前者が連続ビームを指向することから、以下の理由により超伝導リニアックの採用を至当とする。

i) ビームパルス幅が十分に長い場合には（典型的には 1 ～ 2 ms 以上）、電力が大幅に節減できること（これもリニアックを短くすることに寄与する）から高周波源の建設費用および運転費用を大幅に改善することも可能である。またその結果加速管も短くなるので、超伝導化しても、その加速管自身の費用も改善される可能性がある（常伝導空洞の場合には、一般に長い加速管の方が高周波電力を消費しないので、高周波源の費用および運転費用を節減できる。したがって、加速管及び高周波源の合計建設費用を最小にするにはかなり長い加速管となる。）。

ii) 長いビーム・パルス幅の場合、冷却の問題や放電の問題からも、常伝導加速器と比較して加速電場を大きくできるので、短いリニアックが可能となる。

iii) ビーム軸に対する対称性が優れている。

iv) 空洞内の蓄積エネルギーが大きいので、リング入射のためにチョッパーでビーム電流を一部間引きしても、電場に与える影響は少ないなど、ビーム負荷の変動に対して安定である。

v) シャント・インピーダンス（加速効率）が事実上無限大に近いので、ビーム損失の軽減のためにビーム口径を広くする必要があっても、エネルギー効率を落とさずに対応できる。（但しこの件に関しては以下の 7. 4. でも指摘されるように慎重に扱う必要がある。）

超伝導化にともなう種々の技術的困難が予想されるが、上記 1. ～ 5. で提案された方針に従うことによって解決可能なものと考えられる。

一方、中性子散乱実験に対しては、連続ビーム自身の用途もあるが、繰り返し数 10Hz、パルス幅数 100ns から 1 μ s のパルス中性子束が最も有用とされる。この条件を満たしながら、MW 級のビーム出力を有する強力な中性子源は、現在のところパルス運転をするリニアックにリングを組み合わせることによってのみ可能である。従来の方法では、7. 3. で詳述するようにリングへの入射時間はできるだけ短いほうが有利であり、せいぜい 1 ms 程度までと考えられている。一方、従来の超伝導空洞に電磁エネルギーを蓄積するためには、1 ms 程度の時間を要し、その間の高周波電力が無駄に失われることから、1 ms 以下のパルス運転においては超伝導空洞の運転費上の長所が次第に失われる。さらに、このようなパルス運転の間にはできるだけ高いピーク電流を加速することがリングへの入射にとって有利であることから、それに応じた高いピーク電力の出る高周波源であって、連続運転が可能なものを用意する必要がある。このような問題を解決して超伝導リニアックの潜在能力を十分に活用するためには、例えば 7. 3. で延べるような複数個のリングを用意するなど、従来なかった新技術を開発することが強く望まれる。

7. 2. リングへの入射エネルギーについて

リング入射のエネルギーに関しては、空間電荷効果という観点からは高いエネルギーが望ましい。しかし、ビーム損失が特に大きいリングへの入射時にエネルギーが高いということは、残留放射能の発生を著しく大きくする結果となり、却ってビーム電流を制限する可能性がある。リングへの入射時のビーム損失に関してそのメカニズムが必ずしも

十分に解明されていないため、その定量的な予測に不確定性が大きいのが現状である。またメカニズムによっては、ビーム損失の低減どころかその局在化に限界がある可能性もある。そのため、1~1.5 GeV のリニアックと蓄積リングの組み合わせというスキームと、低エネルギーのリニアックと速い繰り返しのシンクロトロン (RCS) の組み合わせというスキームの2種類のスキームのいずれが高性能であるかについてもいまだ定説がない。

上記のビーム損失に関してはフォイルでの損失等不可避なもの以外にも、特に大強度では、種々の未解明の過程が存在する懸念が強いと思われる。従って、こうした過程の基本的理解を進めることが重要と考える。この目的のためにはラザフォードの ISIS やロスアラモスの PSR での経験を最大限活かし、また、必要に応じて先行する JHP を用いて実験的な研究を行う必要があると考える。リングへの入射エネルギーに関しては、こうした実験結果にもとづいて決定する柔軟性を持たせることが望ましい。

特に 1.5 GeV という入射エネルギーについては、ローレンツ・ストリッピングのため、 H^- イオンのビーム輸送系の磁場をかなり低く抑えなければならず、その結果 H^- 荷電変換入射に使えるエネルギーとしては上限である可能性が高く、慎重に扱うべきである。

7. 3. リングに対する提言

超伝導リニアックの特徴を最大限活かすために、複数のリングを想定することを提言する。一般に、超伝導リニアックにおいては、ピーク電流の増強よりもそれを抑えながらビーム・パルス幅の延長によってその平均電流の増強を実現することを至当とする。その場合、リングのラティスの高次の共鳴が効き始めること、荷電変換薄膜への衝突回数の制限といったことから、入射時間に制限が生じ、一つのリングへの入射電流に限界を生じる。さらにまた、入射時におけるビーム損失に起因する残留放射能から来る制限のために一リングあたりに蓄積可能なビーム電流に限界がある。このようなリングから来る制限に対処しながら超伝導リニアックの特徴を活用するためには、複数のリングを当初から想定して計画を進めることが妥当であると考えられる。

7. 4. ピーク電流と加速周波数について

加速ピーク電流 30mA は大きな値ではないにしても、既に空間電荷効果を十分考慮する必要がある値である。空間電荷効果は、周波数依存性を持ち、加速ビームの性質に大きな影響を及ぼす可能性があるため、具体的に検討する事が重要である。また一般に DTL で想定されている常伝導加速においては、加速効率は高い周波数が有利である。一方、

低い周波数の場合に使われる大出力の電子管（3極管及び4極管）は、そのシステム全体を長期間安定に運転する事が難しい可能性がある。この点は、技術力で克服不能ではないにしても、電子管を取り巻く世界的な環境が、必ずしも良好であるとは言い難い点を考慮すれば、大きな課題である。更に、ドリフト・チューブ（DTL）において横方向のチューンを変える必要があるので、四重極電磁石を装着する事を考慮すれば、DTLの上限の周波数が制限される。以上の観点等から検討を行い、その他の重要な条件を考慮の上、低エネルギー領域の周波数を決定する事が必要である。

7. 5. トランジションおよび加速電場について

トランジションはビームの劣化及びビーム損失の原因となりやすい事が指摘されているが、エネルギー100MeVにおいて3倍の周波数に転換する現設計では、ビーム損失を伴わないで安定に加速できるパラメーターの選択範囲が非常に狭くなり、わずかの加速電場の誤差により、ビーム損失を惹起する可能性がある。また、周波数のトランジションの後に使用される超伝導空洞においては、従来の陽子リニアックでは経験していない高い加速電場を用いる事が想定されるので、電場の非線形効果の増大によるビームの質の劣化が予想される。さらに、超伝導空洞はボア半径を大きくしてビーム損失を低減できることがその長所の一つとして上げられるが、一方それは非線形部分の更なる増大につながる。従って、これらの効果を検討して、トランジション・エネルギー、トランジションの周波数の比、そして加速方式等を決定する事が、このような大強度陽子リニアックにとっては極めて重要と考えられる。

7. 6. 超伝導空洞について

TRISTAN、CEBAF、LEP等の電子加速器での経験および4年の開発研究の期間を考慮すれば、連続波モードにおける要求仕様は十分余裕のあるものと判断できる。しかし、パルス・モードでは、カプラーの耐電力および位相、電圧の制御に関する相当な研究開発が必要である。さらに、運転に支障をきたさない長期安定性を実現するには、ハードウェアの信頼性の向上、より清浄な真空環境の追及はもとより長時間のビーム試験が不可欠である。

CEBAF、LEPでは本計画と同規模の施設が稼働しており、加速空洞の製造上の問題は少ないと考えられる。空洞性能については、現在も向上しつつあり、また過去の大量生産の例では、生産ラインへの適正な投資、管理により生産開始後も向上が見られた。しかし、製造建設期間については、現在想定されているスケジュールは必ずしも十分とはいいがたく、人材育成等も含め慎重な検討を要する。

空洞性能の長期安定性については、トリスタンでの7年に及ぶ実績で 10 MV/m の加速電界までは基本的には問題が無いとされている。しかしガス吸着による一時的（エージングあるいは数 10 K の昇温により回復する）な性能劣化は吸着量の増加とともに顕著になるので、10 の-10 乗 Torr 台の清浄な真空は安定運転の必要条件である。

周波数については、ビーム力学上の問題も勘案しつつ、コスト、取り扱い易さ、性能の点から、1 GHz 付近の妥当性についても十分に考慮するべきである。周波数を途中で変えられるのであれば、 $\beta = 0.6 \sim 0.7$ 以下で低めにするのが更に良いと思われる。いずれの場合でも 500 MHz 以上であれば、温度は 2 K 程度の運転が性能、コストの点で有利であると考えられる。

大電力カプラーについては、100 kW を越える長期運転、しかも 300 台を越える数での実績は全く無い。トリスタンの経験から可能な目標と判断するが、200 kW は空洞以上に難しいと思われる。問題はここでも、ガス吸着で、マルチパクタリングが誘発される。内外導体間に DC バイアスをかける手段が取りあえず有効であるが、基本的にはやはり清浄な真空が必要条件である。運転条件を実験的に作りだすことは難しいが、近似的な低温での試験をしながら研究開発を進める必要がある。

冷凍機については、2 K、5 kW クラスの冷凍機は CEBAF で稼働中であるが、より詳細な実状の調査が必要である。

トリスタンでは、運転に大きな支障をきたすほどのビーム運転上の問題点はなかったが、それでも長期運転中には、ガス吸着によるトリップ（ガス放電）が増加した。しかも、陽子リニアックにおいては、個々の空洞について、信頼性の向上、位相及び電圧の安定性が厳しく要求される。前者は清浄な真空の実現、後者は空洞の機械的強度の増強により解決出来ると思われるが、最大の問題点は、パルス運転におけるトランジェントでの位相及び電圧の制御である。許容される誤差、実現できる値について、シミュレーション、ビーム試験の両面からの検討が最重要課題である。超伝導空洞の高い Q 値（ビーム負荷時でも）から、少なくとも CW で位相ロックをかけておくことが必要と思われる。

いずれにしても、性能、規模、運転形態において前例の無い大計画を進めるには、KEK 等との協力を止まらぬさらに強力な協同研究を展開し、可能な限りのビーム試験を行うべきである。

8. まとめ

以上繰り返し述べてきたように、本計画で目的とされている先駆的にして野心的な性能を達成するためには、現在の加速器技術の延長線ではない研究開発をも必要とする。したがって、細かい加速器のパラメータの妥当性について、現在の段階で信頼性の高い答申を行うことは困難である。そのような観点から、以上では主として研究開発方針について答申を行い、そのような研究開発結果に基づいて最適な加速器パラメータを選択するうえで重要と思われる技術上の指摘を行ってきた。本計画は、適切な指導方針のもとに研究開発、建設を進めていくなれば、実現可能な計画であると考えられ、さらに加速器科学という観点からも是非実現させるべき計画である。しかしながら、その野心的な性能のため、リング等のパラメータの最終決定に当たっては、JHP 等他の計画の研究開発・建設・運転結果の成果を十分に取り入れる必要があると考えられる。

[添付資料]

(1) 加速器専門部会の開催経過

第1回専門部会	平成9年1月21日(火)	東京、霞が山会館
第2回専門部会	平成9年2月25日(火)	東京虎ノ門パストラル

中性子科学研究計画検討委員会
第1回加速器専門部会議事録

1. 日時：平成9年1月21日(火) 13:30～17:30
2. 場所：東京 霞山会館(霞山ビル9階) たけの間
3. 出席者：山崎部会長(高エネ研)、新井(東大)、加藤(高エネ研)、佐藤(放医研)、野口(高エネ研)、野田(京大)、矢野(理研)、山根(高エネ研)、向山、前川、横溝、竹内、水本、大山、鈴木邦彦、草野、大内、東稔*(以上原研)、(以上18名、順不同、敬称略、*オブザーバー)

4. 議題

1. 部会長挨拶
2. 経緯
3. 中性子科学研究計画
4. 中性子科学研究計画検討委員会
5. 加速器開発
加速器計画の概要
要素技術開発の現状
超伝導空洞の技術開発
6. コメント
7. 質疑
8. まとめ

5. 配布資料

- | | | |
|-----------|---------------------|----------|
| 資料 No 1-1 | 議事次第 | |
| 資料 No 1-2 | 検討委員会委員及び専門部会専門委員名簿 | |
| 資料 No 1-3 | 中性子科学研究計画 | (説明者：向山) |
| 資料 No 1-4 | 加速器計画の概要 | (説明者：水本) |
| 資料 No 1-5 | 要素技術開発の現状 | (説明者：草野) |
| 資料 No 1-6 | 超伝導空洞の技術開発 | (説明者：大内) |
| 資料 No 1-7 | ビーム蓄積リング | |

6. 議事概要

- (1) 部会長挨拶
山崎部会長より第1回部会開催にあたっての挨拶があり、世界1の加速器を作るべく衆知を集めることの重要性が強調された。また、各委員が自己紹介した。
- (2) 経緯
向山氏が中性子科学研究計画検討委員会及び加速器専門部会設置の経緯を説明した。
- (3) 中性子科学研究計画
向山氏が資料3に基づいて、原研が検討を進めている中性子科学研究計画について説明した。なお、答申は親委員会が原研に出すので、専門部会は答申案を親委員会に出すことになる。検討期間が短いこともあり、中間報告的なものとなっても止むを得ないとの説明があった。
- (4) 中性子科学研究計画検討委員会
大山氏が、平成8年12月19日に開催された第1回中性子科学研究計画検討委員会の議事の概要を説明した。
- (5) 加速器開発
1) 加速器計画の概要
水本氏が資料4に基づいて加速器計画の概要を説明した。加速器の基本仕様、ビーム出力とピーク電流・時間構造の関係、最大5MWの蓄積リングの開発ステップ、2個の蓄積リ

ングを開発する可能性等について議論があった。また、DTLの高周波電源（4極管）の信頼性についても検討すべきであるとの意見があった。

2) 要素技術開発の現状

草野氏が資料5に基づいて要素技術開発の現状を説明した。RFQの透過率に関連して、イオン源からのビームのエミッタンス、RFQの軸方向電場分布の一様性、RFQへのマッチングの状態、縦方向スペースチャージ計算結果の信頼性について議論があった。

3) 超伝導空洞の技術開発

大内氏が資料6に基づいて超伝導空洞の試作、特性試験の結果を説明した。空洞パラメータの最適化、開発方針・スケジュールについて議論があった。また、加速周波数の問題は長年の懸案であり充分検討すると同時に、原研、JHPでの2つの選択があるのだから、これらで充分精度の良い実験結果を出して最終的な結果をだすべきであるという意見があった。

6. コメント

山根委員及び加藤委員が、それぞれ、意見を述べた。

(1) 山根委員

5MW蓄積リングのビームロスの割合（入射、加速中、取り出し）についてKEKブースターと主リングの経験を基に検討結果が示された。また、ビームロスの原因について、フォイルの散乱、ローレンツストリップングなどによる影響について説明があった。リングのトンネルについてはビームロスの局在化と十分なシールドを実施するためにも十分な空間が必要なことが指摘された。

(2) 加藤委員

CERNのビーム特性の実験結果を基に、100%ビームについてはエネルギーの低い領域から既に予想よりもかなり大きく広がる可能性があること、また、空間電荷効果については非線形効果を設計に取り入れることが重要であることが述べられた。JHPのビーム設計例を示し、予めビームの挙動を十分考慮して、設計の基本的な考え方を纏めておくことの重要性が指摘された。

7. 質疑及びまとめ

答申案の作成に関連して、答申案の内容、作成方法、スケジュール及び専門部会の開催頻度等について話し合われ以下のとおり決定された。

(1) 各委員は、答申案の内容、次の項目等を念頭に置いて意見を述べる。

- ・ 周波数
- ・ 蓄積リングの数（1つか2つか）
- ・ 高エネ研との協力関係

(2) 討議はeメールで2月中旬までに行い（共通ファイルを草野氏が作成し、後日、連絡する）、答申案としてまとめる。意見が対立して結論が出せない場合には並記とする。

(3) 次回の専門部会を2月25日（火）に開催し答申案を検討する。

(4) 答申案の内容を、3月10日の週に西川委員長に説明する。

以上

質疑応答内容

第1回加速器専門部会

1) 中性子科学研究計画について(向山武彦)

Q)ターゲットでのビームサイズはどのくらいを想定しているか。

A)大きさは100x200 μ m位を考えている。

Q)ビーム電流の平坦度にはどのくらいの要求があるのか。

A)ビーム分布がガウス分布になるのは避けたい、当面BNL/AGSでの実験を重要視している。
(具体的な数値目標は示されなかった)。

Q)加速器開発が2ステップで実施されるが、ターゲットの開発も2段階を考えるのか。

A)固体と液体ターゲットを考えている。難しさが異なるので開発は同時に行いたい。

Q)加速器の産業への利用が謳われているが、消滅処理利用以外の何かを想定しているのか。

A)消滅処理を第一に考えている。安定なビーム(頻繁にビームがダウンしない)の加速器の実現が絶対条件となる。

2) 加速器開発の概要(水本元治)

C)超伝導加速器でDTLからの周波数のジャンプがある場合、後段加速部では変化周波数倍のピーク電流がRFバケットに取り込まれる。超伝導加速器でのピーク電流30mAという表現は適当ではない。

A)設計では3倍の90mAに相当のビームを加速することを想定して計算を実施している。

Q)加速電流5.33mAとビームパワーとの関連はどうか。

A)最大ビームパワー8MWを考えている。1.5GeVの加速エネルギーなので5.33mAはその際の平均電流(CW)である。中性子散乱実験施設へのパルス運転では5MWを最大とし、ピーク電流30mA、チョッピング率60%で50Hzなので、ビームの幅は3.7msを必要とする。

C)蓄積リングへの入射の際、3.7msと長い時間幅を持ったビームの入射は、Higher Orderの共鳴が起きることが予想されるので不可能だろう。

A)原研の予備的な検討でも5MWのビームの蓄積はかなり困難であることが予想されている。まだ確定ではないが、リニアックの開発と同じように2stepで開発を進めていきたい。

C)ESSやSNSでは5MWのRingを計画していることもあり、一概に不可能ということはないと思う。しかし、原研の計画のように2step(1.5MW~5MW)で考えるのが妥当だろう。最終的には2個のリングを考えるのが妥当かもしれない。

C)原研で現在提案されているリングへのビーム入射に関して、stripping foilの位置が適当でない。LANLのPSRでの失敗の経験を生かして、 H^0 の粒子の処置に注意を払う設計をする必要がある。

Q)蓄積リングでのビーム圧縮は考えるのか。

A)提案されているリングは加速もビーム圧縮もしないタイプを考えている。

Q)負イオン源入射電流の50mAは30mAより多いが余裕を見ているのか。

A)その通りである。

Q)DTL用の高周波アンプとして4極管を考えているのは産業用の安定な加速器を考える場合不
適当である。4極管では多段の増幅をする必要がありかつ信頼性の問題が指摘されている。

A)DTLの高周波源については、周波数の選択等の面から4極管を選ばざるを得ない。今後信頼
性が向上することを期待し、また1本あたりのパワーも500kW位いの低い領域で使用するこ
とを考えている。また、他の高周波源IOTや固体素子の検討も行っていく。

3) 加速器開発の現状 (草野譲一)

Q)RFQの透過率が設計と異なっているとのことだが、透過率測定時の入射ビームのRFQへのマ
ッチング条件はどうなっているか。

A)今回の実験では、LEBTの配置の関係で正確なRFQへのマッチングの状態は測定されていない。

Q)RFQ出口のエミッタンスが設計値の3倍にもなっているのはなぜか。

A)原因はまだ究明されていない。イオン源からのビームのエミッタンスが期待しているもの
より悪い、マッチングがとれていない、ベーンの2次元加工(JHPの同様)等の問題が考えら
れる。

C)JHP(432MHz)でも、LEBT測定では十分アクセプタンスに入っているはずのビームをRFQに入
射させても、80%の透過率しか得られていない。原因は不明だが、設計計算コードであるPAR
MTEQの縦方向のスペースチャージの計算に問題があるのではないかと思っている。実験で検
証されていない計算コードによる議論では不十分である。その点でも、周波数の違う2つのR
FQであるJHPと原研での実験を精度良く行うのは重要である。

Q)RFQの縦方向の電場分布の一様性が良くないのではないか、特に入射部での低い値になって
いるため、設定より高い電場を掛けなければならないのではないか。

A)満足している訳ではないが、チューナーの数の問題や時間的な制限で十分調整できていな
い。

Q)軸方法の電場分布をRFが入力されているときに測定したことはあるか。

A)ピックアップを使用して測定したが、測定点が少ないために精度の良いデータは得られな
かった。(ピックアップは各クオドラントに4箇所、計24箇所設置)

Q)ビームを横に曲げてしまうTE111モードは基本モードであるTE210とどのくらい離れている
か。

A)実質的な問題になるほど2つのモードは重なってはいなかったと思う。測定値をチェック
してみる。(周波数差2.44MHz (203.686 (TE111) -201.2375 (TE210))

C)ビームストッパーの位置のFC3を使ってビームのバンチを測定することはできないか。

A)構造がかなり大きいため時間の短いバンチを測定するのは困難だろう。

Q)イオン源のアラインメント誤差をキャンセルするようなステアリング機能はあるのか。

A)X-Yステアリングが設置されているが、簡便に軸ずれを調整するのは容易ではない。

Q)85%のプロトン比は十分良いのではないか、またプロトン比が低くても加速電流がとれさえ
すれば実質的な問題はないのではないか。

A)プロトン比が悪いと加速電流が低くなるほかにもRFQ内の真空度(通常 $10^{-6} \sim 10^{-7}$)が悪く
なり放電の原因となる。CW運転の際はさらに問題になると予想される。

4) 超伝導空洞の技術開発 (大内伸夫)

Q) $\beta=0.5$ のみが紹介されたが、なぜ $\beta=0.5$ なのか、今後の方針が明確でない。

A) 超伝導陽子加速器では低 β 領域の加速空洞製作の成立性がもっとも大きな課題である。それを開発のスタートポイントにしている。その結果を見て、全体の戦略を考える。

Q) 空洞のアイリス部(円筒の口の部分)を7.5cmに固定した理由は何か。

A) 製作性(機械加工の制約)と電解研磨(EP)の際の研磨量を十分とりたいためである。

C) 入力カップラーの取り付けの易さなどの都合も要因の一つである。

Q) 超伝導空洞内のビームの径はどの位が予想されているか。

A) rmsサイズで1~1.5mmである。この値は、主にDTLからのビームの質によって決定されている。

C) 高 β リニアックが600MHzに設定されているのはDTLの3倍を選択したのだと思うが、600MHzが最適かどうかはまだ考えてみる必要がある。超伝導空洞用のニオブの量を節約するためには周波数が高い方が良い。高い周波数では2Kの運転を想定する必要がある。

A) DTLと高 β リニアックで200MHz/600MHzのく見合わせを選択しているのは、可能な限り実証された技術を利用するという基本方針による。ベストでは無いかもしれないがベターだと思っている。

C) それぞれに程々の性能を発揮するというのは必要とされる全体的な性能の面で問題が生じるおそれがある。周波数が高い方がビームの質は良いとのコンセンサスは確立されている。

現在、各国で提案されている大強度の加速器は200MHzよりも高いものが多い。全体の戦略を十分立てて計画が行き詰まらないようにすべきだ。

A) 周波数が低い方が熱的な問題に関しては有利だと考える。

C) JHP用として行っている432MHzでの実験からのスケーリングは350MHz近傍の周波数で十分CW運転時の熱的な問題もクリアできていると思っている。何れにせよ、周波数の問題は、長年の懸案であるため、十分検討すると同時に、原研、JHPでの2つの選択があるのだからこれらで十分精度の良い実験結果を出して最終的な結果を出すようにすべきである。

Q) 超伝導空洞の多連セルの場合セル間カップリングの大きさはどのくらいか。

A) 計算では4.7~2.1%である。

Q) 超伝導空洞の π モードでのビームローディングはどうなるのか。

C) 電子加速の場合はビームローディングにより電場のティルトがある。

C) 陽子の場合にはビームの質を悪くする原因となり問題であろう。

中性子科学研究計画検討委員会
第2回加速器専門部会議事録

1. 日時：平成9年2月25日（火） 13:00～17:00
2. 場所：東京 虎ノ門パストラル 本館7階 やまぶき
3. 出席者：山崎部会長（高エ研）、新井（東大）、加藤（高エ研）、佐藤（放医研）、野口（高エ研）、野田（京大）、服部（東工大）、山根（高エ研）、向山、竹内、鈴木康夫、水本、大山、鈴木邦彦、草野、大内、東稔*（以上原研）、（以上17名、順不同、敬称略、*オブザーバー）

4. 議題

1. 答申案の提示と説明
2. 答申案の内容に関する質問、コメント及び議論
3. 答申案のまとめ
4. その他

5. 配布資料

- 資料 No 2-1 議事次第
- 資料 No 2-2 第1回加速器部会議事録（案）
- 資料 No 2-3 質疑応答内容（第一回加速器専門部会）
- 資料 No 2-4 中性子科学研究計画検討委員会加速器専門部会答申（案）
- 資料 No 2-5 各委員のコメント

6. 議事概要

（1）議事次第説明

山崎部会長が、本日の議事進行方法、および、答申案作成の経緯について説明した。委員の意見はe-mailで聴取したこと、集められた意見の内容では、詳細なパラメータに関しては煮詰まってないものの根本的な差異なかった。

（**委員から議事録の確認の要請があり後程行うことになった）

各項目について説明された主な内容は以下の通り。

1. 本計画の特徴と重点開発項目

- ・本答申案は、「加速器側からの立場」を述べたものである。
- ・本計画の最大の特徴は超伝導リニアックの採用であり、国内外の他の計画と比較した時の、計画の意義と特徴が重要となる。

2. 超伝導リニアックの研究開発方針

- ・ $\pi/2$ モード運転の利点に言及した、しかし現実的な困難さから考慮する必要性を指摘するにとどめた。

3. 研究開発体制と人材の育成

- ・KEKとの協力関係を推進し、KEKでの超伝導空洞（SCC）技術を有効に利用する。
- ・加速器関連の人材の育成を全国的な規模で実施すべきである。

4. 他の研究開発項目とその方針

- ・京大化研等のKEK以外の大学研究機関との協力体制を整えるべきである。
- ・周波数の異なる3台のRFQ（KEK、JAERI、京大化研）により、最適なパラメータの押さえ込みを行う。
- ・先行するJHP加速器（シンクロトロン等）の開発結果を最大限利用してパラメータの最適化を行う。
- ・リニアック建設において段階的エネルギー増強方式と実機を用いたビームテストを提案する。

5. ビーム損失による加速器残留放射化に対する方針

- ・保守計画を十分検討すべきである。この項目の提案はまた最終的なものではない。
- 6. 加速器の基本パラメータについて
 - 6.1 エネルギーについて
 - ・エネルギーに関する意見が委員から多く寄せられた。最終的な加速エネルギーは1~1.5 GeVの範囲内で考慮すべきである。特に、リングへの入射エネルギーの決定(1.5GeV入射)は慎重に扱うべきである。
 - 6.2 リングに対する提言
 - ・2リングにすべきとの提案が委員から寄せられた。答申案では、複数のリングが必要との表現を用いた。
 - 6.3 ピーク電流と加速周波数について
 - ・DTLの200MHzおよびSCCの600MHzの選択にはビームダイナミクス、高周波源の供給性等からの異論があり更に検討を要することが表記された。
 - 6.4 トランジションおよび加速電場について
 - ・加速器パラメータが変化するトランジション(加速周波数、縦・横のビームの運動(集束力、加速電場))に関して更に検討が必要であるとした。
 - 6.5 超伝導空洞について
 - ・KEKトリスタンや既存の加速器の実績から超伝導空洞の製作上の基本的な障害となる問題はない。
 - ・長期安定性、大出力カップラー、冷凍機、位相制御等の開発項目を指摘する。

7. 質疑

以上の考え方に基づいた答申案について、各項目ごとに意見の交換を行った。

8. まとめと全体の論点整理。

- ・超伝導リニアックを開発の重点項目とする記述に先立ち、中性子科学計画にどのような加速器が望ましいかを記述する。
 - ・加速周波数やトランジション(6.3および6.4)に関する部分について、今回の質疑内容を基に、加藤委員が訂正版を作成する。
 - ・ビーム損失の制御、加速器保守に関する部分は、鈴木康夫委員が訂正版を作成する。
 - ・超伝導空洞についての部分は野口委員が訂正版を作成する。
- ・以上の作業を平成9年3月3日の週に行い、答申案の最終案とする。

以上

質疑応答内容

第2回加速器専門部会

第2回目の専門部会の質疑応答を作成しました。質疑の経緯、内容の趣旨と背景等をより明確にするためにあえて発言者の名前を入れました。しかし、発言は議論の流れに沿ってなされたものであり、この発言の内容に責任を負って頂くことは全くありません。また、重要な論点についてはかなり繰り返し議論がされていますが、それについても整理は致しませんでした。

質疑応答の内容に関して御異論のある方は是非NSPA97上で御意見をお寄せ下さい。

事務局

全体的な意見

(水本) 答申案は、原研が提案している加速器パラメータに対するコメントあるいは対案が主な内容であり、原研提案の趣旨を説明する部分は含まれていないことを理解して頂きたい。また、超伝導リニアック(SCC)が本計画の最大の売りであるのは当然であるが、担当者としては低エネルギー部開発も同様に進めていきたい。またリングについても重点化したい。

(山根) 答申案であるので、全体としてどのような加速器が望ましいのかという観点からの記述が第一に必要であり、その後、各論に入った方がよい。

(山崎) 本計画のポイントになるのは国内外の他の計画にない独自性である。

(山根) 全体像が見えるような記述が必要である。SCC加速器のみで中性子源が出来るような印象を与えるのは好ましくない。パルス中性子源のあるべき姿を議論すべきである。

(向山) 中性子科学から見た加速器の特徴は中性子散乱と消滅処理の2つである(マルチパーパス)。そのため、パルス運転とCW運転が加速器の特徴となっている。

(山崎) 大前提から記述を進めなかった理由は、加速エネルギーは利用系の要求によって決定され、中性子発生効率はパワーによってきまるからである。

(鈴木) 外国では原子力用と中性子散乱用の加速器とは独立に計画されている。両者を両立させるのは世界で始めてであり、本加速器の特徴となる。

(野田) 親委員会ではどのような答申を求めているのか。

(向山) 原研の計画が妥当なものか、開発・建設期間は適切かが要求されていると理解してほしい。

(新井) 中性子科学研究計画用の加速器のパラメータが既にあって、それを基に答申が纏められている。水本氏の言うように方針の順序を入れ替えてバランスを直したらよいのでは。

(山崎) 低エネルギー部については、超伝導の技術開発に存在するような大きな問題は特にあるとは思えない。

(山根) 答申案の第1節が、概要、総論になっていないのでは無いと思われる。全体にふれた後に、力点を置くところを述べると良い。

(山崎) 総花的になると、インパクトが薄れてしまう面がある。

(向山) 本計画の特徴としては超伝導と大電流の2点であり、その2つを強調すればよいと思う。答申案を読んだ第一印象では、超伝導だけが強調されているように思えた。

(山崎) 本加速器は、全体コスト、機器の数等から考えても超伝導リニアックが最も重要な部分である。

(竹内) 予算要求と異なり、特徴をそれほど強調する必要はないのではないか。それより、システムの妥当性について表現すべきである。

(佐藤) 答申案であればこの計画は実現可能である(あるいはそうでない)と言わなければならないのでは。

(山崎) 可能かどうかを議論し、結論を出すのは困難である。よって実現へ向けての種々の提言を付したい。特に、開発体制の問題が重要であり、原研では人材の問題に関心が薄いといわざるを得ない。

(竹内) 確かに第3節(研究開発体制と人材育成)を強調すべきである。また可能と結論付けなくとも段階的な建設を進めていけば良い。

(山根、服部) 同意見である

(服部) 大強度化についての開発課題は沢山ある。JHPより1桁高いビームを狙うとすれば、開発の質も異なってくる。一方で、以前の計画と比較して電流値が下がってしまったのは残念だが。

(向山) この計画はAll Japanとして進めていきたい。その点で西川委員長の勧告(科技庁だけでなく全日本的な視野からの意見)が出るのが重要である。また、ビームのパワーが以前の1/2(8 MW)に下がったのは利用系の要求で決定された。

(竹内) ビームパワーの8MWは利用者側からの必要量か、それとも最終的な達成目標か。

(向山) 提案されている電流値5.33mAは必要量である。

(野田) 通常の答申では、パラメータが妥当であるかどうかを判断しなければならない。本答申は特別であるが、基本仕様の妥当性(フィージビリティ)については言及すべきではないか。

(山崎) 加速器の仕様やパラメータだけを見てフィージブルであるというのは困難である。

(山根、鈴木) R&Dを十分に実施するという条件付きで妥当であると言っていいのでは。

(山崎) 提案されているスケジュール内で実現させるとすると非常に難しい。

(山根) 今のスケジュールではだめだといってしまうのは無責任である。スケジュールについても提言が必要ではないか。

(向山) 例えば5MWのリングについてもそれが不可能であれば、不可能といってもらっても良い。

(山根) 実現性に関しては、技術的な問題と人材的な問題に分けられる。技術的には問題がないと思われるが、特に日本では人材的な問題が大きい。人材不足を大いに強調しても良い。

(服部) ビームダイナミクス計算をする人なら10人位いれば十分である。他の種類(熱計算などを実施する)人材が要求される。原研には、多くの人材がいるはずである。

(佐藤) 答申としては、人材育成を強調すればよい。

(水本) 熱の問題は重要である。答申案の記述の中で、低エネルギーの開発も含めて、開発のステップが構築しやすいような内容になるように配慮していただきたい。

(山崎) 低エネルギー部については現状では目処がついたのではないか。

(加藤) 低エネルギーで目処がついたのはRFQまでで、まだ完全ではない。特に低エネルギー部でビームの質が決定されてしまうので重要である。

(山崎) それぞれ問題があるのは承知している。しかし、繰り返すが、超伝導が最大の課題であると思う。

(竹内) 以前の計画で提案していたように「BTA」といっていた開発段階が必要との記述があっても良いだろう。

(山根) 加速器全体構想については問題点を説き起こし、超伝導にはいるべきだし、Ringについても記述しても良い。

(向山) 超伝導リニアックを選択したことの妥当性についても言及していただきたい。

(山崎) 本計画での超伝導リニアック選択の妥当性については問題ないと思う。

(野口) 消滅処理の工学試験にはピーク電流30mAが必要なのか。超伝導空洞へのカップラーに必要なとされるパワー200kWはピークか平均か。

(向山) 加速器とカップルさせて利用する未臨界体系として常陽クラスの実験炉を考えると、必要な電流は2.3mAである

(水本) カップラーで200kW必要なのはデューティー18%のピーク値である。

(服部) 平均電流によって超伝導方式が良いかどうかが決まる。ビーム電流についても再検討すべきではないか。

(向山) 本計画でのビームパワーは、消滅処理ターゲットの実験で7MW、ニュートロニクス関連の実験で1MWが要求されている。

(山崎) パルスでも実験が行えるのでは。ビームパワーが同じで熱の問題だけであればCW/パルスで実験的な差はないのではないかと。パルスにできれば加速器側でだいぶ楽になる。

(向山) 実験側からの要請でパルスもCWも必要になってくる。

(水本) 未臨界体系でのパルス運転(50Hz)の際、パルス間隔20msでビーム照射を行うと熱サイクルの関係から材料強度に問題があると聞いている。

(野口) ビームロスの観点からは、CWの方がよいと思うが、それ以外にどのような問題があるか。

(山崎) 低 β 側での電力が決定的に異なる。本加速器はパルス運転時のピーク電流がCW運転に比較して大きい。本来ならCW時に大きな平均電流の加速をするのが自然である。このパルス/CWの混在がコストを大きく上げる可能性がある。パルスの立ち上がり立ち下がりでの位相の制御に関しても開発要素が存在する。装置を目的別に特化した方が良いかもしれない。

(水本) 低エネルギー部では長さが全体の1/8であるのに対し必要なRFパワーは1/3~1/2になり、極めて不自然な加速器構成になっている。

(草野) 実機の消滅処理プラントではCWで30mAが必要となる。

(山崎) まとめ方の提案

- ・利用系の要求、パワー、パルス構造等について述べた後に、超伝導にする必要性を述べる。第一行はそのまま残したい。

- ・人材の育成に関してもっと強調する。特に、ビームシミュレーション以外の人材が必要なことを明記する。

- ・スケジュールについてはただ困難だというのは責任逃れであると思われる。第3節(体制、人材育成)が満足されなければ不可能であることに言及する。

- ・リングについては困難ではあるが、不可能ではない。複数のリングにすれば可能と考える。

- ・低エネルギー部については必要なことを記述する。記述の方法については考慮する。

- ・パルス/CWについては必然性が理解しにくい。熱サイクルに関してさらに詳しい説明が欲しい。コンセプトについてはワークショップの場などでの再検討が必要かもしれない。

(鈴木) この計画は消滅処理プラント実機のモックアップの意味合いもあるので超伝導という選択になる。

(向山) CWなしでパルスみの運転で良ければ超伝導の選択は妥当か、常伝導の選択との境界はどのくらいだと考えるか聞きたい。

(山崎) ビームのパルス幅が2msより長ければ超伝導でやるべきである。

(水本) デューティーが20%以上なら超伝導はおかしくない。

(向山) 将来の産業利用を考えてCW運転とはいえないか。

(野田) 低エネルギー部のCW化による熱・電力に関するロスについても将来利用されるマシン開発の一環として意味づけて表現してはどうか。

(山崎) 将来機として大電流での電力、非線形効果によるビーム質の悪化等を考えると超伝導で長パルス、低電流を採用した方が望ましいと考えている。

4の開発方針について

(向山) 開発方針4の第2節と第3節の記述に矛盾がある。第2節は、JHPに依存するような開発スキ

ームであり、第3節は段階的に加速器を開発するという自立型となっている。JHP依存型ではJHPが動き出して結果ができるまで設計できないということにならないか。JHPの進行状況によっては、原研が提案している開発スケジュールとJHPのデータの活用に制限がででくる可能性がある。表現方法を工夫してもらいたい。

(山崎) JHPは低 β 側から先行して製作、ビーム試験を進めていく。その点で協力できると思う。しかし、誤解の無いように答申案の表現を書き直す。しかし、第3節についてはJHPでは出来ないこともあるのでこのままでよいのではないか。

(加藤) 段階的に進めていくという竹内氏の提案どおり(所定のピーク電流を加速する)にすると長い期間が必要になってくる。また、個々の機器を細分化してチェックするとしても、つなぎ部分の問題は残る。(ロスアラモスでは最終スペックに到達するのに10年を要した。)

(竹内) 性急に装置を製作しても性能が保証されるわけではない。多少時間が掛かっても丁寧に段階的に建設していった方が加速器科学上では有効である。また、利用系でもR&Dに時間が掛かるだろう。

(水本) 計画でも段階的に建設すると平行して各パーツごとの単体試験を行う予定である。段階的に進めるためのエネルギーの区切りについてはまだ考える余地がある。試験を実施するピーク電流については100%である必要はないのでは無いか。

(竹内) 加速構造が超伝導リニアックに変化した部分(128MeV程度)ではフルビームが出ることを確認したい。

(野田) ピーク電流に依存する性能以外はこれまでの超伝導開発の実績からそれほど問題はないのではないか。デューティーは小さくてもよい。

(山崎) 実際的なビームローディングを再現するビームテストは重要である。

(水本) それらの実験を行うためにも、低 β 部分、高 β リニアックそれぞれにフルスペックの高周波源が必要となる。

(山崎) 今後の進め方

- ・どのように段階的に開発するかという方法については検討
- ・蓄積リングを利用することの妥当性(低エネルギーリニアックとRCS(シンクロトロン)の選択との利害得失)。
- ・リングへの入射エネルギー値についての表現。

(加藤) RCSについて記述すれば超伝導のメリット(CW化が不可能)がなくなってくる。

(山根) RCSでは、低エネルギー入射のために空間電荷効果が大きい、パルスマグネットと大型の電源が必要、真空チェンバーにセラミックダクト等が必要となるなどの問題がある。原研の計画ではリニアック+SRが妥当だと考える。

(山崎) ANLの提案のように中性子源への利用だけだと0.6GeVのRCSもあり、まだどちらが良いかの決着はついていない。入射エネルギーに関しては、ESS、SNSを考えても1~1.5GeVに最適な解がある。

(山根) エネルギーに関してはLANLのサーベイの結果があるが、Bestな解を得るのは難しい。1.5GeVがローレンツストリッピングの点で上限となる。

(向山) 中性子利用側の要求はパワーが保証されていれば良いとしている。

(水本) 原研の計画でも1.5GeVを絶対条件にはしていない。

(山崎) エネルギー決定のための詳細検討事項(ハローコレクター、アクロマチック領域の必要性

等)を記述する

(鈴木)山根氏の2リング用のトンネルを予め造っておくとの記述を必要としないか。

(山崎)ビーム出力増強のために複数のリングを検討するのは妥当だと思われる。

(山根)初期に1.5MWのリングを建設し、第2期に5MWを目標とする。1.5MWでロスR&Dを行い5MWへ増強する。また、建家として2つのリングが入るトンネルを準備するのは有効である。

(野田)1.5MWでもかなり強力なビームである。放射化の観点から後追いで2リング目の建設が行えるか検討が必要だろう。

(山崎)別のトンネルが必要かもしれないが、要検討である。

6.3ピーク電流と周波数について

(新井)周波数の選択については、また異論が多い。低い周波数が良いとの意見(LANL)もある。個人的には高い周波数が必ずしも良いとは思っていない。

(山崎)KEKでやられたドクター論文では、空間電荷効果、エミッタンスの増加、非線形効果等の評価により、高い周波数で加速した方が良いビームが得られると言う結果になっている。特にこれらの議論はDTLの部分に関して重要である。

(加藤)周波数に関して検討する必要があるといった趣旨は、ただ周波数を上げた方が良いといっているのではなく、周波数選択の立脚点を明確にすべきであるという意味である。それが明確であれば、300MHzが絶対ではない。

(水本)原研の計画でも、200MHz/600MHzに固執はしない。

6.4トランジションについて

(加藤)横方向のトランジションと縦方向のトランジションを同一エネルギー点で行う必要はない。先に横方向のトランジションを行い(SDTLでの集束力の変化)、後で縦方向のトランジション(周波数jump、加速電場の変化)を行った方がよい。

(山崎)正負同時加速が念頭に置かれて、マイクロパルスで周波数3倍(200→600MHz)のトランジションが選択されている。利用からの必然性の検討を要する。

(加藤)パルスごとに正負同時加速せずにH-からH+へ変換するので良いのではないか。

6.5超伝導について

(野口)超伝導空洞の周波数変化を避けるために、ビームのない時にも電場を立てておいて、周波数をロックしておいた方がよい。そのときに電場を下げておいてロスを少なくする方法も考えられる。

(竹内)共振周波数は電場の二乗で影響を受けるので、印可するRF電力の変化からの効果が大きいのでは。

(野口)空洞の機械的な構造の強化が是非必要である。

(山崎)全体の論点の整理

・ 大まかなスキームでは合意が得られているが、個々のパラメータについてはまだ検討が必要である、という趣旨の答申にする。

・ 6.3以降の各論については各専門分野の執筆担当者に答申案の訂正をお願いしたい。

・ 5節のビーム損失とその対策については鈴木氏にまとめてもらう。

以 上

(2) 加速器専門部会委員

部会長	山崎 良成	高エネルギー物理学研究所教授
専門委員		
リニアック	加藤 隆夫	高エネルギー物理学研究所助教授
	新井 重昭	東京大学原子核研究所助教授
	服部 俊幸	東京工業大学工学部助教授炉研究所
リング	山根 功	高エネルギー物理学研究所教授
	佐藤 幸夫	放射線医学総合研究所 医用重粒子物理工学研究部第1研究室長
	野田 章	京都大学化学研究所 附属原子核科学研究施設教授
超伝導加速	野口 修一	高エネルギー物理学研究所助教授
	矢野 安重	理化学研究所主任研究員
原研専門委員		
	鈴木 康夫	特別研究員
	向山 武彦	中性子科学推進特別チームリーダー
	前川 洋	原子炉工学部次長
	横溝 英明	大型放射光施設開発室加速器系開発 グループリーダー
	竹内 末広	加速器管理室主任研究員
	水本 元治	陽子加速器研究室長
事務局		
	大山 幸夫	中性子科学推進特別チームサブリーダー
	鈴木 邦彦	中性子科学推進特別チーム
	草野 譲一	陽子加速器研究室
	大内 伸夫	陽子加速器研究室
	丸山 慎	原子炉工学部事務室