

国際リニアコライダー計画の見直し案に関する検討委員会 技術検証分科会（第4回）
議事録

日時 : 平成30年9月13日（木）10:00～12:30
会場 : 日本学術会議 大会議室（2階）
委員会出席者 : 米田委員長 嘉門副委員長 西條幹事 家委員 望月委員 田中委員
参考人 : 道園真一郎参考人（高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設加速器第六研究系主幹）
宮原正信参考人（高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設研究支援員）
参考人随行者 : 高エネルギー加速器研究機構
山本明氏（加速器研究施設・名誉教授） 早野仁司氏（加速器研究施設・教授） 照沼信浩氏（加速器研究施設・教授） 横谷馨氏（加速器研究施設・名誉教授） 藤井恵介氏（素粒子原子核研究所・教授） 山下了氏（ILC 推進準備室・客員教授） 若林賢一氏（施設企画課長） 五味田将氏（国際企画課・課長）
事務局 : 犬塚参事官ほか

【公開審議】

議題1. 参考人ヒアリング

道園参考人から、ビームダンプ等についての追加説明が行われ、次のとおり意見交換が行われた。

家委員：ビームアポートシステムの400キロワットダンプというのはどういう方式のダンプなのか。

道園参考人：これはカーボンでXFELと同じタイプだったと思う。

家委員：緊急停止した場合には、アポートダンプにどれだけのビームが行くのか。

道園参考人：130個のバンチが来る。

家委員：緊急停止信号は12.5マイクロ秒で到達するということが、そのアポートシステムでビームをキックするレスポンスタイムは？

道園参考人：信号の到達は、大体マイクロセカンド。アボートシステムは KEKB の場合だとマイクロ秒オーダー。

家委員：アボートはマグネットで曲げるということか。

道園参考人：マグネットである。

参考人随行者：パルスキッカーと呼ばれているもので、ナノ秒、早いものはナノ秒の応答。

道園参考人：いわゆるここで取り出しを行っているのと似たような感じ。ビームの取り出しを行う。

家委員：そこが作動しないという可能性は。

道園参考人：このアボートシステムがということか。そうすると、どうなるかという、ここから取り出された 130 個ぐらいのバンチが、全部ビームダンプに行く恐れがあるということ。

家委員：全部行くわけか。そのときは沸騰が起こるということか。

道園参考人：それは水の部分の確か下流 2 メートルぐらいのところでは沸騰が起きるが、その場合は沸騰が起こったところはビームが通り抜けていくので、後ろのほうに、後ろのほうにといわゆる熱くなる場所が下がっていくという、そういうことになる。

家委員：ビームダンプ室に関して、この間セカンドダンプという話があったが、それはその設計にはまだ入っていないということか。

道園参考人：ここの中には入っていない。

家委員：どうやるのか。

参考人随行者：この左側のところにつくられる予定を、つくられることを想定して、必要なシールド類、後から追加できないシールド類は初めから用意される、そういうイメージ。

家委員：その局所シールドと書いてあるその黒い部分をもっと広くするという、そういうことか。

参考人随行者：そのとおり。

家委員：窓交換システムというのはどういうふうにするのか。

道園参考人：これはちょっとまだ詳細設計はできていない。

家委員：どうやるのか、私には想像もつかないが。

道園参考人：窓交換は、基本的には水を抜く。真空の部分を、どう設計するか。

家委員：そこの 10 気圧と真空の間のパッキングはどうなっているのか。

道園参考人：これはメタルシール。

家委員：それを全部ロボットで交換すると。

道園参考人：ということになる。ちょっと補足説明として、ビームダンプの沸騰の話だが、恐らくこれはまだ循環水に関しては 73 度なので、50 バンチの話はこちらの場合。だから、まだ多分かなり余裕があると思う。つまり、150 バンチとしても沸騰しない。

家委員：そこは理解した。それからもう一つ、液体ヘリウムは全部でどのくらい使うのか。

道園参考人：液体ヘリウムの量のことか。

家委員：はい。

道園参考人：この後ろにある。確か 80 トンぐらいだったと思う。

参考人随行者：そこに記述してある量としては正味 50 トン。

道園参考人：50 トン。

参考人随行者：ただ実際、当然のことながら運用するときは、それに 20%以上余裕を持って備蓄はしており、正味使うのは 50 トンぐらい。

道園参考人：23 ページのところに書いている。LHC が 136 トンで、500GeV のときが 84 トン使う予定で、250 のときは 50 トン程度使う。

家委員：全電源喪失のときに、それはガス量としては大変なものになると思うが。

参考人随行者：それは相当検討しており、3 日間で全体を地上で回収しきるという設計をしている。TDR のときはまだそこまで考えが十分に至っていなかったが、電源全喪失ということ想定して、そうするともう必ず蒸発はすぐに始まる。これは止められないので、それは地上にある回収圧縮機、ガスタンクを用いて回収・備蓄する設計となっている。

家委員：地上に回収、ガスタンクを全部それでやると。

参考人随行者：そう。電源も、非常電源もそこに、地上にあって、そのすぐ横にいわゆる回収圧縮機といっているが、吸い上げたヘリウムガスを圧縮して、20 気圧のタンクに全部を入れていくという作業を 3 日間でできるという計算をしている。

田中委員：非常に分かりやすい説明ありがたい。家委員の質問に関連したことからスタートするが、400 キロワットのダンプでは、ダンピングリングと同じような取り出しの方式で行われるというふうに聞こえたが、そういう理解でよろしいか。

参考人随行者：早い応答が必要な場合はそういうのがあるが、時間的に間に合うものであれば。

田中委員：早野さんが今ちょっと首を傾げたように見えたが。

参考人随行者：ダンピングリングのキッカーはナノセカンドで立ち上がる非常に早いものだが、ここに使うのはもうちょっとトロイダルコア、コイルの何十ナノセカンド、例えば 60 ナノから 80 ナノセカンドの立ち上がりのパルスマグネットが使える。

田中委員：マグネットなのか、RF キッカーではなくて。

参考人随行者：マグネット。これは ATF。実績があるもの。

田中委員：そういう意味では違うものか。

参考人随行者：違う。

田中委員：分かった。質問は幾つかある。あそこにたまたま温度が出ているが、先ほどから温度が 110 度とか言われていたが、それは平均温度と理解してよろしいか。

道園参考人：循環水は最高温度。一番高いところ。

田中委員：最高温度というのが、ボリュームが熱量に対して均一に上がったという理解、そういうことか。

道園参考人：ビームがエネルギーを一番落とすところは 2 メーターぐらいだったか、2 メーターぐらいのところで、そこで一番温度が上がる。

参考人随行者：シャワーマックスの場所。

道園参考人：115 度のご質問についてだが、115 度はビーム窓の表面の一番高いところである。

田中委員：表面の温度。

参考人随行者：そう。ビーム窓のビームの密度が一番上がる場所。回転しているが、水平に動くところは密度が上がるため、その温度になる。

田中委員：自分で定量的に計算はしていないが、この通常に比べたら空間分布がシャープな電子ビームが水の中に入ると、そこで一気に気化が起こると思う、局所的に。そんなに熱の伝達というのは大きくないから、持ち込む非常に高密度のエネルギーがローカルに解放されると、水は液体のままじゃなくて多分気体になるはず、瞬間的に。

参考人随行者：最大の場所はシャワーマックスで、水の中に入ってから 2 メーターぐらい先。だから、入ったときのサイズよりずっと大きくなっている。そこら辺の温度が最大になる。だから、沸騰が起きる最初の場所はそこの辺り。

田中委員：だから高密度のところでは、水の温度はほとんど上がらないということか。

参考人随行者：入り口でのロスはずっと少ない。中に入って、シャワーが一番広がったところ辺り。

田中委員：それが 110 度と言われた。

参考人随行者：それはビームの窓、チタンの窓の温度で、ビームの中の水の温度はここには 73 度。

田中委員：それは本当にビームがワーッと通過した一番コアのところの温度が 73 度にしなければならないと。

参考人随行者：そういうこと。それが以前の TDR のときには 155 度だった。そのために、これが十分沸騰しないためには 10 気圧が必要だという、そういう勘定。

田中委員：そうすると、局所的に蒸発が起きて、それがつぶれるというような、そういう現象は絶対起きないのか。

参考人随行者：そういう勘定。

田中委員：本当か。

参考人随行者：シミュレーション上はそうなっていて、それでなおかつなぜ水かというところが、そこに一つの要因があると思うが。要するに密度が高くないので、逆に言うと全体に分散されていく。

田中委員：それはエネルギーデポジットが大きくないから。

参考人随行者：そういうこと。だから分散してくれて、ある距離の中でいくので、どこかでピッと立ってしまうことが少ない。それが多分水ターゲットの場合の一つの利点だと思う。

田中委員：だけど、これ多分同じ論文を読まれていると思うが、ペーパーで出ているところの流体力学的な解析では、衝撃波が出るというような記述を確か読んだ記憶があるが。

参考人随行者：それは。

田中委員：パラメーターが違うということか。

参考人随行者：そう。幸いにして、TDR のときは、いわゆる 500GeV じゃなくて 1TeV ま

でいった場合のことを想定して設計がされているのに対して、ILC250 の場合はその 4 分の 1。だから状態はかなり緩和されていて、少なくとも ILC250 と同じ設計を取る限りにおいては、そういった状態は起きないというのが今の検討。

田中委員：今のお答えは、4 分の 1 に減ったので、そういうような物理現象はたまたまうまく回避できるようなパラメーターになっているという理解なのか、本当に。

参考人随行者：1TeV の計算のときも、それは耐えられるという評価になっていたはず。250 になって。

田中委員：何が耐えられるということか。

参考人随行者：今おっしゃられた沸騰衝撃波。衝撃波も計算されていたので、それで問題ないということになっている、応力的に。

田中委員：いやいや、そのときは衝撃波が実際に発生すると。確か、キャビテーションのなことがダンプの中で起きるという前提でいろいろ計算されていた。

参考人随行者：キャビテーションを防ぐために。

田中委員：キャビテーションの意味は、蒸発した蒸気がつぶれるということ。蒸発したものが圧力で。そうしたら衝撃波が、大きさは別として発生する。だけど、先ほどの説明だと、パワーが小さくなったので、そういう現象は一切起きなくなったと聞こえたが、それは本当なのか。起きるけれども安全なのか、それとも本当にそういう現象は起きないのか。

参考人随行者：多分正確には、余裕度がずっと増えたというのがより正しい答えじゃないかと思う。10 気圧にして 155 度という温度である限りにおいて、やっぱりこれは蒸発しない。だけど 180 度ぐらいになると蒸発するという状態が見えてくるので、そういった計算はされていて、この計算の中でそれがどの部分を議論されていたか私も分からない。

田中委員：それと、どういうコードでどうやってメッシュを切って計算したのかは知らないが、一般的には、時間的にゆっくりした、平均化されたようなものだったならば、既存のコードでもかなり正確に計算できると思うが、これは入熱のエネルギー密度が高くて、極短時間で起きる現象だから、どの程度の精度でそもそも最大の温度だとか、先ほど言ったように急激な蒸発が起きてつぶれるという現象を予測できるのか、その辺の信頼性というか、その辺はどうなのかなというの、自分で計算していないから分からないが。

参考人随行者：それは本当に詰めなきやいけない大切なご指摘だと理解している。一方でそういうことを防ぐために、どうしたらそれを防げるかということが、いろんな角度から検討されていて、そのためにはいわゆるペンシルビームをぐるぐる回してそれが集中しないようにすることとか、いろんなことが考えられている。じゃあペンシルビームが止まったらどうするのかということに対しては、いわゆるペンシルビームを描くための早くパルス的な、AC であるとマグネットを 2 重化、3 重化していくことによって、一気に絶対止まらない。マグネットはインダクタンスがあるので、ビームの触が止まるできないということ。そういったことも含めて、全体としては 10 気圧にしておけば 1TeV の場合でもそれでもまだ大丈夫である。今度の場合はもし 10 気圧にすればさらに 3 倍の余裕度が出るわけだが、そこまで行うことによって 10 気圧の場合はそれなりにまた圧力が高いということに対するリスクも増えるから、3 気圧でも十分にいけるという計算結果が現在では出ている。ただ、現在私たちができることというのは、予算も限られている中で、シミュレーションでしっかりとスタディーをすることが現在できることで、これを本当に実験的に実証する必要があるといった場合において、当然みんなそう思っているわけだが、それは準備期間というものを与えていただいた中で実証していかなければいけない課題というようにご指摘いただけると大変ありがたいと思う。

田中委員：今の話も大変よく分かる。一方で、この話をしつこく聞いている理由というのは、道園参考人の説明の前提にあるのは、ステンレスのところでは放射化したものは、基本的に水に溶解しない。だから 1 次冷却水の放射化物はトリチウムだけというようなことが前提になっている。そこで何回も繰り返し聞いている。というのは、そういう理想的な状況が起きれば、もちろん素晴らしいことだが、実際いろいろ経験してみると、現実がそんなきれいな状態で済むのかなというのがまずある。基本的には、ステンレスが放射化し、例えば衝撃波とかでちょっとずつ、それが SS (Suspended Solid) として削り取られ、冷却水の中に拡散する可能性もあれば、物理化学的な反応も窓のところで起こり得る。窓の内面のところでは、水と金属、それから放射線が比較的高い温度で共存し、それから水蒸気もある。そこで化学反応が起きて、金属がイオンとして溶出する可能性もあるので、ダンプの水がトリチウムだけできれいだというのは、もともとのシステムデザインの前提としてどうなのかと思ってそのところを聞いている。

道園参考人：ご指摘ありがたい。一つ前に戻って、ビームダンプの設計については、後ろの 31 ページ、32 ページ、34 ページのところにもある。恐らくこの辺でどういうコードを使ってどういうふうになっているかというのは、そこでも見ていただけたと思うが、一応時間構造も込みでシミュレーションをやっている。不純物がどれ位入ったらというのは、確か SLAC で聞いたときに不純物の話も確かあったと思うが、シミュレーションの中には

十分に多分取り込めない部分もあるかもしれない。それについては貴重なご意見として引き続き検討させていただきたい。

田中委員：もう一つ。バルブを何重かに多重化して、万が一のときに備えるというプランを示されているが、お聞きしたかったのは、どういうタイミングでバルブを閉められるのか。窓に異常があったということは、漏水センサーが真空度のモニターで検知して、それでその後 100 マイクロセックぐらいだったか。

道園参考人：100 ミリ秒。

田中委員：100 ミリか。

道園参考人：100 ミリで閉める。

田中委員：じゃあもう基本的にはビームが全部止まった後で閉めるということか。

道園参考人：はい。というか、大体 100 ミリ秒ぐらいのものじゃないと、物理的に閉めるのは困難だと思う。

田中委員：それだったら。全てだからビームとかが後ろから来るとかいうことの可能性もない条件になって閉める。

道園参考人：そんなに早くは閉まらない。

田中委員：そんな早く閉めるということではない。

道園参考人：はい。

米田委員長：この間の北海道のブラックアウトのように全電源が一気になくなったときに、モニターで検知するのも電気が要るので、全電源が突然喪失して、しかも何かの誤動作が発生して、ビーム窓が壊れたときはどうなるのか。

道園参考人：電源が止まるとどうなるかという、まずほとんどのものはダンピングリングにとどまっている。それから少しずつ取り出すわけだが、まず取り出せなくなる。全部電源が止まったときには、まずここで曲がることもできなくなる。考えるべきは、ここからここまで来ているビームバンチが大体 130 個ぐらいあるわけだが、そのエネルギーがど

ここに行くかなんだが、一部はビームダンプに行くとは思いますが、あとは電源がなくなった場合は、非常に大きなエネルギーじゃないと思う。もし予備電源なんかちゃんと入れて動くとしたら、ここに曲がるわけだが、最悪の場合はこの部分のエネルギーが加速器の中でどこかにぶつかる。多くは恐らくはここ 5GeV のエネルギーだが、5GeV のエネルギーを持っているこの、まずこのラインとかこのライン、こういったところで曲がらないといけないところで多分落ちてしまうと思う。

参考人随行者：今おっしゃられたように、今の赤い色で書かれた部分というのは、エネルギーが 5GeV の状態なので、例えば既存の加速器でやっているビームのレベルということで、そんなに大きなダンプが必要だというわけではない。問題は、メインライナックで加速されたビームのほうがいつまでに捨てられるかということで、停電になっても一瞬で全部がなくなるというよりは、わずかな数十マイクロ秒だと思うが、その間の磁場はまだだいたいある状態かと思う。いろんなところでアポートシステムがあって、先ほどの真空遮断のほうの話もあるが、安全システムにおいては電気で遮断するというよりも、例えば圧縮した空気がもう既にそこにためられていて、停電と同時にそれで作動する。あるいは機械的なバネで停電と同時に作動する。そういうものが安全装置としてあるため、停電でバルブが動かなくなるとか、そういうことはない。

嘉門副委員長：14 ページ、加速器土木ということでご説明いただいたが、赤だけ説明されて、それ以外は説明なかった。これは土木と書いてあるが、建設時の検討ということか。それとも運営、稼働も含めてか。

道園参考人：カテゴリーが、完全に適切な分類になっているかどうかだが、この中には、例えば地震対策ということは、運転時とも、10 番のところは、地震対策というのは運転時の話も入っており、9 番の常時微動も同じ。8 番の設置精度というのはインストールするときの話で、確かにいわゆる土木本体だけではなく、いろんなものも入っている。

嘉門副委員長：これはコストも含めて整理が悪い。結局建設コストは運営時にはかかるわけではないので、やはりそれぞれの整備の段階ごとに明示してほしい。また、このリスクもどういうリスクがあってどういう対応をするのか。こういうふうにとまとめてもらえると、全体を精査するのに分かりやすい。混乱してこれだと、例えば 1 だが。

道園参考人：確かに 1 番が運転中の話。

嘉門副委員長：運転中の話でもあるし、つくっているときもこういう問題もあるかもしれない。

道園参考人：ここをなぜここに入れたかという、停電は施設設備のところに関わるものだったので、最初運転という項目も入れようと思っていたが、むしろ予算の切り口で分けたほうが分かりやすいと思ってこういう切り口にしている。

嘉門副委員長：予算でも、これが運転中だということにすると、その停電時の対策、これで例えばビームラインが稼働しているときには、人が空洞側の中にはいないはず。

道園参考人：いない。

嘉門副委員長：ところが、やっぱりこういう設備の点検だとか故障とかいうときには、必ず人が立ち入るし、ビームダンプはもちろんオートマチックでロボットでやるとしても、それを操作しなきゃいけない、地上からは多分無理。そうすると、そういう担当者がこのアクセストンネル、大体 5 キロごとに設置されているが、歩いて行くということになるのか。やっぱりある程度車か何かを使うのか。

道園参考人：自転車なのか、動くものか、そういうものを使うということか。

嘉門副委員長：そういうものを使わなきゃならないとすると、この停電のときに、そういう人が簡単に逃げられない。だから、そういうリスクについても停電のときの対応が絶対必要なので、それも含めてそういう実際を想定したリスクをもうちょっと積み上げていく必要があるのではないかというのが感想。

今日は時間がないので、詳しく細部の資料を全部見て了解するというわけにはいかないが、そういう意味でこの土木ということになってくると、ものをつくらないといけないので、それに工事を始めるための準備のリスク、橋が重量物を運んだら落下してしまうというリスク等を想定する必要がある。それともう一つ、ここに出ているトンネル形状の余裕がないということにつける。空きスペースを考えてもこれまでの説明されている図は LHC と比べて余裕があるという。LHC も厳しいところでやっている。ILC は少し余裕があるということなんだろうが、直線であるということが LHC とは根本的に違う。十分には地質状況が分からない岩盤を真っすぐ 20 キロもつくるということは極めて難しい。トンネルで両方から掘削を始めて、ぶつからなかったというのは、昔笑い話であるが現実にある。最近測量精度が上がってきているが、岩盤の状況によっては、当初のレーザービームで焦点を合わせていった先がずれるということ、あるいははずらざるを得ないということが発生するので、この直線かつ水平トンネルだということに対する余裕というのは、どの程度見込んでいるのか。実は掘ってみないと分からないところがあるので、それをどう見込むかというのはなかなか難しい。この余裕という意味では、先ほどの人の運営時の安全性、

逃げるスペースとか機器とかの分も含めて、やっぱり余裕はかなり必要じゃないかなというのが私の感想。

道園参考人：まず避難のことについては、基本的には停電時は LHC と同じことが検討できると思い、LHC を参考にはしているが、規模的にも多分アクセスの間隔は同じぐらいなので、そういったことを参考にしてやりたいと思う。

それからトンネルについての貴重なご意見はありがたい。一応私今日は KEK と LCC と両方の立場で話はしており、分けけとしては KEK はいわゆるサンプルサイドというモデル地区はあまり考慮しないということで、一方で LCC の下では AAA とか東北の方が現地調査をやっていて、今回補助資料も付いているが、さらに現地調査を進めていって、掘ってみないと分からないというご指摘だが、そういったことも並行して進めないといけないと思う。

参考人随行者：嘉門委員のご指摘は大変重要なポイントだと思うが、私のほうから一点だけ補足説明させていただく。ILC というのはご指摘のとおり直線性が厳しく求められるため、2 点が決まると、衝突点が決まってトンネルのラインが決まると、もうおのずと厳しい制限がある。従って、サイトの選定にあたっては、事前に極めて厳しい条件を付して最良の選択をする、そういうことが既に行われているということが一点。もう一つは、最近目まぐるしく土木工学、トンネル工学が進展して、施工中の前方探査技術、トンネルを掘進し始めてからも、常時前方の地質を探索しながら、適切な工法、あるいは予測をして設計、工法の変更、補強技術を検討する、そういう技術は目まぐるしく進展している。そういう技術を適用することによって、当初しっかりと設計がなされた上で、決められたコースを正確に掘進するということは可能だというふうに土木学会、トンネル業界からもそういう声をいただいている。

嘉門副委員長：技術は 20 年ぐらい前と比べたら飛躍的に進歩している。ところが、対象とする岩盤は掘ってみないと分からない。ここが問題。土木工事で問題が起こって値段が上がるのは、大体地盤のミスジャッジが主因。地盤の調査に失敗することで、30%ぐらい建設コストが上がったりするため、そのところについてはやはり余裕を持った設計が必要。

道園参考人：事前の調査が非常に重要だというご指摘ありがたい。それから一点、LHC の場合のお話があったが、基本的には丸の場合も直線の場合も、同じところを通らないといけないというのは基本的には一緒。いわゆるビームラインを通すという意味では、いわゆるこういう形にできるというわけではないので、ちょっと勉強させていただきたい。

田中委員：道園参考人に教えていただき、どんなコードかというのが 32 ページに出ている。ANSYS を使われているということで理解した。これは熱解析や構造解析が行えるかなり汎用的なコードである。実は ANSYS はわれわれでもフォトンビームアブソーバーの熱解析に使用している。われわれのケースでは非常にシャープなフォトンビームがアブソーバー、われわれの場合は、グリッドコップだとか銅だとかの金属に入ってくる状況の熱解析に使っている。非常にエネルギー密度が高くて空間的にもシャープ、時間的にも短パルスという問題設定に対して、もちろん解いて答えは出るのだが、本当にこれがどの程度正しいのかというのがわれわれの中では議論になっている。われわれは最終的には実証するというをやっている。なので、ANSYS で解いてこうだから絶対大丈夫というのは、それはちょっとどうかというふうに思う。

道園参考人：結局のところどれだけの余裕度を持たせるかというところにたどり着くんだと思うが、貴重なご意見ありがたい。

田中委員：はい。一応使っているコードだったので、コメントさせていただいた。

家委員：私も物性屋として、非常にローカルで非平衡な状況だろうと思う。それを温度で書けるかどうかというのはすごく疑問。

道園参考人：われわれが今回載せているのは、われわれのところで追試というか、もともと SLAC のほうで書いた論文のパラメーターをわれわれで別途独立に追試したもの。ご指摘ちょっと勉強させていただく。

望月委員：非常に単純な質問で大変恐縮だが、ビームダンプについて、実際につくる前に、計算どおりにいっているかどうかというのを確認する手段、あるいは地域の方々にお示しする手段というのはあるのか。それとも実際につくってみないと、動かしてみないと分からないということなのだろうか。そこをお教え願えればと。

道園参考人：非常に申し訳ないが、かなり難しいと思う。というのは、同じようなビームのエネルギー、これだと 2.6 メガワットだが、2.6 メガワットのビームを実際に投入するというようなことは現実的には難しい。ただ、例えば前少しコメントがあったのは、例えば個体に関する熱負荷であれば、レーザービームとかそういったもので熱を与えてみてはどうかという、そういうコメントをいただいたことはあるが、実際にビームダンプとして水の温度上昇とかそういったものをリアルに評価するというのは、残念ながらビーム負荷として難しいと思っている。

望月委員：そうすると、運転を始めた後ということなのだろうが、そういう疑問点とかよく分からない点を実際に計測するとか、そういうことは考えているのか。これはビームダンプだけではなくて、いろいろあると思うが。

道園参考人：一応機器ができてインストールした後は、コミッショニング期間といって 1 年間の期間がある。これは機器調整の期間。恐らく今までの他の加速器もそうだが、先ほどパルス構造を申し上げたが、1 秒間に 5 回、5 ヘルツで 1,300 個のビームバンチがあると申し上げたが、一番最初は少しずつビームを入れてやる。そのときにももちろんいろんなところに、センサーというか、ビームだとビームモニターがあったり、放射線だったら放射線モニターがあるが、そこの中の値を見ながら、最初からこの 1,300 個のバンチがドカッと来るわけじゃなくて、少しずつ増やしていく。だから最初のデューティーとしては 1,300 バンチのうちの 1 個しかバンチを通さないという時間がかなりの時間あって、そのときに他のところの放射線レベルが、要するに 1,000 分の 1 の状態、そういったかたちでどういうことが起きるのか、ビームダンプについてももちろん測れるところはどうなるのか。デューティーが低い間は当然中に入ることができると思うので、それも含めていわゆる機器の評価時間、そういった時間を最初の 1 年間取っており、その間にいろいろ調査しながら運転に持っていくということになると思う。

望月委員：調査の方法とか、調査の機器とか、そういうものはもう既にあるのか。

道園参考人：恐らくこれまでの経験だと、例えば放射線をモニターするところはいろいろモニター機器は置かれると思う。それから、いわゆる通常の加速器のモニター用のものをそのまま使うというのが通常。

望月委員：ビームダンプの中の水の気化についてはどうか。

道園参考人：ビームダンプの中を直接のぞくことは難しい。ただ局所的な温度を何らかのかたちで測るとか、そういったことはできるのではないかと思う。ただ、それが数字に現れているか。

参考人随行者：例えばアメリカ等々水ダンプをやっている、水ダンプじゃなくても循環水システムとしてやっている機械設備側のほうで圧力、温度、それから成分等々のモニターは通常されているため、同じようにそれは入れる、それを見ながらビーム強度を上げていくということになるんだと思う。

道園参考人：一番最初は、例えば 1,000 分の 1 ぐらいのビームパワーになる。

望月委員：モニターというのを実際ビームダンプの中に入れるのか。どうやるのか。

参考人随行者：ビームダンプの中には多分入れないと思う。ビームダンプそのものは構造的にとにかくシンプル、強度があるものにしたいと思う。それから放射線でセンサー類がダメージを受けるということは十分考えられるため、なるべくそういうものはないという状態が望ましいだろうと。

望月委員：そうすると、結局のところ実際に実運用というか、所定のエネルギーまで達して、そのときに実際何が起こるかというのを見ないと、残念ながら分からないということか。

参考人随行者：はい。一つは、これも道園参考人の方から以前話があったかと思うが、プロトタイプとして約3分の1強度のものがアメリカで動いていた。そこからさらに3倍上がったときはどうか、という話だと思うが、まず3分の1のところレベルからはスタートできるであろうと。その先のビームを上げながら、やはり学んでいくということになるんだと思う。安全上担保しながら上げていくという、そういうお答えしか今はできないと思う。

望月委員：そういう意味では、今まであるものと違うものをいろんなところでやらなければいけないことになるから、そういうところでどういうチェックをして、場合によったらもう一回やり直しのような話も出てくるかと思うが。そんなものとして何と何があるかというのを整理しておかないといけないと思う。

道園参考人：おっしゃるとおり、ご指摘のとおりだと思う。一番注意しないといけないのは、ご指摘のとおりビームダンプの部分、あともう一つ陽電子源だと思う。

米田委員長：さっきの質問の仕方が悪かったと反省している。聞きたかったのは、大地震が起こったときに、例えば北海道では、苫東厚真発電所は安全装置が作動する前にハードである設備が壊れ、それでブラックアウトにつながったと聞いている。私が聞きたかったのは、地震という衝撃によってビームダンプの窓が壊れるとか、そこに何らかの不具合が生じて、同時にブラックアウトしたときはどうなるのかということ。

道園参考人：簡単なお質問ではない。複合の場合どうなるかということだろう。恐らくこの一番早いところにそれを入れられるかどうか分からないが、通常の場合だとバルブは「開く」で遮断されるため、停電した段階で多分バルブは全部閉まるようになると思う。

ビームも止まる。閉まってしまえば、万が一ここに穴が開いたとしても、最初の時点で水が止まるかどうか分からないが、どこかのところでは止まるということになる。なので、ビームダンプからの漏れはどこかで遮断できるというふうに考えている。

停電については、非常に簡単なお説明が難しいが、基本のご理解いただきたいのは、施設として確かに今までの経験から、例えば真空が漏れたとか、そういった事象はあるが、いわゆる冷却をし続けないと重大な事故につながるとか、そういったことは加速器ではない。イメージとしては私が、これは個人的な考えだが、むしろ似ているなあと思うのは、例えば半導体製造の工場がある。あれは規模としては多分 2,000~3,000 億だと 1 年間にそれぐらい投じると聞いている。あそこでもやはりナノメートルサイズのものをつくらないといけないとか、クリーンな環境にしないといけないとかいう話があるが、そういったところで地震による被害が起きる、その似たようなことは加速器でも想定せざるを得ないと思う。

西條幹事：14 ペーの環境アセスメントのところ。2 番目のところだが、地域の自主努力として環境調査が実施されており、というふうに書いているが、ぱっと読んでみると結構投げやりな感じがして、環境アセスメントはいつ、どこで、誰がやるのかということに関する質問がしたい。

道園参考人：候補地域でやっているアセスメント。

参考人随行者：地域でやっていることじゃなくて、実際のときにどういう主体でやるのか。

道園参考人：そういうご質問か。

西條幹事：いや、ここの中身の説明をしてほしい。だから、地域に自主努力として環境調査が実施されており、と書いてあるが、じゃあどんな情報を与えて彼らが環境調査にあたっているのか。

参考人随行者：地元のほうとは一体でチームとしては一緒にやっている。高エネ加速器研究機構は地元から要請をされたらそれに対してサポートするという立場で動いている。実際には一緒にやっているが、この間の分科会するときにもご説明したあの一連の調査項目、あれをまず共有して、それを県にお渡しして、県とそれからあと大学が中心になって、特に県が地元では予備環境調査、いわゆる準備段階の調査、例えばイヌワシとかそういうものの 1 年分の観測とか、動植物とか、それから規制区域とか、そういう調査というのをやっているというところ。

西條幹事：ステークホルダー以外の方、第三者が入っての環境アセスメントはやっていないのか。

参考人随行者：そこまではやっていない。

参考人随行者：西條委員の質問に的確にお答えするとすれば、この環境アセスメントの実施主体は、このプロジェクト側にある。地域ではなくて、このプロジェクト、建設プロジェクトを執行する事業者が責任をもって環境アセスをやる、これは間違いなく基本的なスタンス。

西條幹事：じゃあ第三者は含めない。

参考人随行者：いや、もちろん環境アセスメントの評価の中に第三者、学識経験者の評価は当然入ってくる、それが環境アセスだと思う。

道園参考人：そういう意味では、予備的ないわゆる本準備期間のところでアセスメントをやるが、それについてはまだ完全に詰まっていないところもあると思うので、ご指摘いただければ。

西條幹事：この書き方だと、普通の皆さんが読むと、えらい投げやりだなあと誤って思うので、ちゃんと書いたほうが良いと思う。

参考人随行者：一言だけ。私たちの立場として書かなければいけない点は、また国として **KEK** ないしはその母体がやるということをまだ許されていない。国としてはまだ公式には決めてないという立場のため、自主的にしていただいたことに対して大変感謝している。そういう状態の意味がこの自主というところにある。決して投げやりということではない。

道園参考人：読む方にちょっと誤解を与えるようなことは、それは申し訳ない。

参考人随行者：最後に一つだけ、資料をわざわざ分けて今回ご提出させていただいている。それも実はそういう立場上の問題があって、あくまで主体はどちらと切り分けながらやっているために、この資料が2つに分かれているという、そういう事情がある。

田中委員：ちょっと不勉強で、最近説明を受けて理解したのだが、超電導加速システムでも、コンディショニングが結構必要だということ。私は常伝導と違ってそれはほとんど

必要ないと誤解していた。超電導空洞内面は、非常にきれいなクリーンな表面で、わざわざコンタミがないようにしているので、コンディショニングは不必要かと思っていたが、それが書物によると、コンディショニング時はそれなりに放電があり、徐々にパワーを入れていかなきゃいけないような話が載っていた。そのときの 1 台当たり、1 台当たりというのは、クライオモジュールの空洞のユニット当たり、間違っているかもしれないが、1 ナノアンペアと言う結構大きなチャージが放電から出るようなことになっているようで、それでお聞きしたい。もちろん超伝導状態が定常状態ということで、そこに最終的に行くというのは分かるが、途中過程は、コミッショニングのときは放電により X 線がそれなりに発生する、そういう前提か。間違っていればそれは違うと言っていただければいいと思うが。コンディショニング時に、例えばトンネルの周りの地下水のモニタリングみたいなことをやりながら運転する必要があると予想して、コミッショニングが比較的複雑になるなど思ったが、そんなことはないのか。

道園参考人：超伝導の空洞に関しては、程度問題だと思うが、私は常伝導も超伝導も両方やっていたが、新しい加速管やる時には常伝導だと多分 1 カ月単位が必要。超伝導で STF とか ERL とかやっている感じだと、1 日でかなり上がる。もちろんコンディショニングは必要で、例えば今回の場合だと、モジュールをある程度見ておけば、暗電流が出るものも多分分かると思う。ただ、ご指摘のとおり、暗電流が大きいということは、それなりの対策をしないといけないのと、運転電界を下げるとか、多分上がるところには行くが、超伝導の場合はそこから先上がるのは多分難しいんだと思う。コンディショニング効果で少しずつ電界が上がっていくというのはなかなか厳しいんじゃないかと思っていて。そのときに、この空洞をどこの電界まで動かしてあげるかという見極めは、多分やらないといけない。ただし、恐らく時間がかかる制限は全体のシステムの中で超伝導は数が多いから時間がかかるかということ、多分そういうことはなくて、他の例えば電子源とかそういったところのいわゆる一部の常伝導のところ、そこが多分私の経験だと時間がかかるのではないかと。ただ、ご指摘のとおり、暗電流とか放射線のモニターというのは、そのコミッショニングの期間にちゃんとやって、いわゆる放射線のレベルは基準を十分下回る、そういった工夫をやらないといけないというのはご指摘のとおり。

参考人随行者：ちょっと補足。一つは、私たち大変感謝しているが、欧州の XFEL 計画で順調にそういったことが全部練習されて、私たちにとっては大変貴重な順調に上がっていくというありがたいデータがある。それからもう一つ、放射線がコンディショニング中に出ていく問題だが、幸いにして出るべきところは非常にはっきりしていて、もちろん暗電流で加速されるのは加速管のところだが、非常に口径が大きいため、そこはかなり素通りしてしまって、一定（約 50m）間隔で置いてある 4 極磁石のところではそれがぶつかるということは非常によく分かっている。だから、そのところをモニターしておく、それが

異常であったかどうかということが分かるということで対処できる。やり方について、対処の仕方についてはある程度分かっているというふうに理解されていると思う。

田中委員：今の説明だと、いずれにしても、トンネルの中の放射線、X線の発生量とかをモニターしてコントロールして、コミッショニングのときにちゃんと管理してやるということか。

道園参考人：そうである。

参考人随行者：経験的にもどこを見ておけばいいかということはかなり理解が進んでいるので、それに従って行っていくことで、過剰なことが起きないことを見ながらチューニングしていくという対応ができるんじゃないかと思う。

家委員：ちょっと別なことだが、加速器の最終部分というのは本当に幾何学的な直線か。ということは、重力的には真ん中が一番低い。だから地下水がもし出たときに、放っておけば真ん中にたまる。その長期電源喪失になったときに、その対策はどういうふうにやっておられるかということと、LHCではどうやっておられるのかということをお聞きしたい。

参考人随行者：一つは、特に真ん中に水が、本当の異常時に対しても集まっていくということのスタディーは、きょう参考資料に、地域のほうで出していただいた中にかなりきちっと書いているので、そちらのほうを参照いただける、私たちは感謝しているわけだが、参照いただくと。それからLHCの場合は、基本的にはくみ上げにポンプを2重3重にしていくことで、全停電のことが起きたときにも、一定の貯留槽は地下に必要なが、一定の期間後には必ず持ち上げられるというのが、過去30年ぐらいもうそのトンネルが動いているかと思うが、そこでその実証ということしか私たちは言えないが、実績はある。

家委員：トンネルより低いところに貯留槽があって、そこにためて、というかたちか。

参考人随行者：基本的には、全停電があったときにも、全停電が復帰するまでの間、下にたまっていたとして、まず非常電源で動かすが、今までCERNで本当に完全に止まったことがあるのは丸1日だと思う。その期間においてはそこにたまるものがあったとしても、その間にトンネルの地下というか、地下部分でいいわけだが、そこに貯留槽があって、そこから非常電源によるポンプによって持ち上げる。1日ぐらいのそういったことがあったとしても、実際加速器をつくったときに、どのくらい水が出るか、それから加速器のトンネルでどのくらい排水できるかということが見えているわけだから、ゼロということは決してないわけで、十分にその分については貯留槽にためた後、1日後であれば上に持ち上

げることができることで問題がないということが分かっている。

家委員：想定されている候補地でどのくらい地下水が出るかというのは分からないのでお聞きするが、大体数日ぐらいは電源喪失しても大丈夫だという想定か。

参考人随行者：今、このレポートの中にあるが、3日間というのが想定されていて、これは東北の大震災があったときに、どれだけ停電したかということが、後になってきちんとしたデータとして出てきており、それがここにも載せていただいている。そういうことで、3日間の間は止まっていたとしてもためていて、その後放流できるということが分かる。

望月委員：資料の2の中で、湧水があった時に、サービストンネルのほうには水が入ったとしてもビームトンネルのほうには入らないようにする、というように書かれているが、それは実際にどうやってやるのか。

参考人随行者：東北の方々と協議を深めさせていただいているが、まずビームトンネルのほうと若干の床面の高さを変えておくことによって、まず第一に防ぐことができる。それから、当然サービストンネルとビームトンネルの間には、いろんな行き来ができるような通路が、放射線上は遮蔽しているが、それでも隙間があるところはあるが、高さを変えておくことができれば、まだ具体的な数値は決定していない状態だが、20センチ30センチというかたちで変えてあげると、実際に現在の計算によると、30センチ程度以上には水位は上がらない。これは今までのいろんな山岳地帯でのトンネルの出水という実績の一番高いところを取った状態でそれ以上上がらないというのがあり、もしサービストンネル側の床レベルが30センチ程度低ければ、ビーム側には入らないように工事できる。

それから、もう一つは、先ほど言い損ねたが、最終的にこの山岳地帯のこのトンネルの場合に、実験室の下から下流の川に向かって自然排水をすることもできるというオプションがある。ただこれはやはりお金がかかることのため、現在は本当に候補地が固定された段階でそれを取るべきかどうか、その投資をすべきかどうかということは判断されるべきことなので、現在はオプションというかたちで書いている。それがどの程度かということも書いていただいているため、そういったことで全体として決して水没しない、それから必ず中央実験室のほうに向かって水が流れていってバランスが取れるというふうに検討結果がなっている。きょう幸いその資料を出していただけたので、そこを見ていただくとかなり分かると思う。

望月委員：もう一つ、今と同じ資料で、4ページのところに表があり、非常対応方針というところの注記のところに、入り口の水門で対処可と書いてあって、引用というのが18ページだと思うが、私には該当する記述が見つからなかった。水門についてはどこに書い

であるのか。

参考人随行者：まとめのほうに書いてあり、本文のほうに、東北の方々との連携で、記述が抜けていたところがあったので、大変失礼した。水門というのは、必ず斜面に、坑口、地上から入る口ができるため、そういうところを選定することができる。、そういうところを取ることによって、そこにきちっとした門をつくってあげれば、大量な水が想定されても、そこには入らないで、なおかつ斜面なのでそこから水が流れていくというのが趣旨。本文のほうはちょっと追いついていなかったかと思う。

望月参考人：だから表のところだけ書いてあるということか。

参考人随行者：そこは失礼した。

望月委員：記述が無いことは分かった。

嘉門副委員長：今資料 2 の話が出たが、16 ページのトンネル断面は、これは 500GeV の ILC の場合で、今の議論をやっている 250GeV ではないのか。

参考人随行者：ここの文章を読んでもいただければと思うが、検討は随分前からやられており、500GeV 相当のときの詳細検討を、今回はスケールダウンすれば十分に適用できると考えている。それから一つだけ、さっきの水の推定量について、全国のトンネルの中でも最大級と言ったが、そうじゃなくて花崗岩地帯での平均値を取っている。ただこの当該地域はそれよりも降水量とか地下水の出水が通常少ないところなので、その平均値を使っておけば最大の見込みに近いだろうと、そういうことでその数値を使って計算とかをやっているということ。

【非公開審議】

議題 2. 論点や引き続きヒアリング等で確認すべき点について

資料 3 に基づいて、国際リニアコライダー計画の見直し案に関する論点や引き続きヒアリングで確認すべき点について議論し、出てきた懸念点等について次回の合同会議までに家委員が整理し、論点メモとしてまとめることになった。

(閉会)