

アジアにおける今後のILC計画の進め方について

LC 推進委員会 2004.12.20 横谷馨

次の3項目を柱とする。

- (A) 加速勾配 35MV/m の技術の確立
- (B) 高い加速勾配の可能性を追求する
- (C) ATF を利用した入射器および Beam Delivery System の研究

(A)は、2005年8月に開かれる第2回ILC Workshopで、ILC-CDRのbaseline加速勾配として35MV/mが採用されると予想して、その工業化技術を確立するものである。TESLA-TTFでの試験で35MV/mが一応実証されているが、これは4-5台の空洞の単体測定、および1台の空洞を他の低い加速勾配の空洞と共存させたクライオスタットでの試験にすぎない。工業化に耐える設計をするにはまだ数年を要する。このためアジア領域としては、その内容については多くの議論が要するが、超伝導技術施設STFの建設が基本的に必要であると考え。これに関してはドイツのTTF2および米国のSMTFがほぼ同じ目標を掲げている。費用の重複を避けるため、これらの間の調整をCentral GDIが行うことが望ましいが、これが機能を始めるにはまだ時間が必要であろう。

(B)は、以下の理由で必要である。TESLA型の電解研磨空洞は最大約40MV/mまで出せると思われるが、これを35MV/mで実際に運転するにはマージンが不足している。より高い勾配に耐えられる空洞を用いることが望ましい。また、ILCの最終目標エネルギーは1TeVであり、これを加速勾配35MV/mで実現するには45km以上の長さの敷地が必要である。日本においてこれを超える敷地候補はあるが、アクセスなどの条件を考慮すると、より高い加速勾配で設計して全長を約40km以内に収めることが望ましい。現在の電解研磨空洞はすでに超伝導の表面磁場限界に達していると考えられるので、加速勾配を上げるにはTESLA型とは異なる形状の空洞の開発が必要である。2005年8月にbaseline加速勾配が決定されるであろう事を考慮すると、この課題は極めて急を要する。開発に必要な時間を考えれば、その時点で高い加速勾配がそのまま採用されることはないであろう。我々の目標は、CDRに高い加速勾配の可能性があると明記され、TDRの時点までに技術を確立することである。以下文書の整合性のため、加速勾配の目標数値を45MV/mとするが、実際に到達できる勾配は異なる可能性がある。なお、この数値はマージンを考慮した運転加速勾配の目標値であり、限界勾配はこれより高い。

(C)は、線型加速器以外の項目での研究である。ATFはILCの要求するエミッタンスを実現できる世界唯一のリングである。ILC用の試験リングとしてみた場合、陽電子がない、空間電荷効果が小さい、など不足の点はあるが、少なくともILC建設開始の時点まではこれに匹敵するようなリングが作られるとは考えられない以上、ATFを最大限に活用することがILCへの貢献として我々の責務である。時間および予算が許される範囲での拡充が望ましい。

(A)(B)の目標のために以下のようなプログラムを計画する。

(1) 現有施設での45MV/mの試験

- * 45MV/mの単セル試験を2004年12月に行う。
- * 45MV/m 9セル空洞4台の縦試験を2005年9月までにAR東棟で行う。

これは 2005 年未までに書かれることになっている CDR にインパクトを与えることを目標とする。この時点で必要な性能が得られない場合は次の年度以降の 45MV/m に関する計画は全面修正し、遠い将来(ILC 計画第 2 期あるいは他の超伝導応用)を目標としたゆっくりした計画に変更する。

(2) STF 第 1 期(2005-2006)

- * (1)で製作した 45MV/m 空洞 4 台を収めるクライオスタットを製作する。
- * 35MV/m 空洞 4 台およびそれを収めるクライオスタットを製作する。
- * これらを同時に運転できる RF 源および冷凍設備を建設する。
- * これらにビームを供給する電子源およびその診断装置を製作する。
- * 2006 年度末までにここまでの総合試験(35MV/m および 45MV/m クライオスタットのビーム付試験)を行う。

45MV/m に関しては、ここまでの開発で TESLA-TTF の 35MV/m の現状を大きく上回る。ただし、TTF2 では 2006 年初めまでに空洞 8 台を含む長いクライオスタットの試験を計画しており、この時点でまだ 1 年の開発レベルの差があるであろう。工業化のためには長いクライオスタットによる試験が不可欠である。

STF における電子ビームの必要性については次のように考える。電子ビームを通すことにより、ビームの励起する高次モードの測定、それによるアライメント検証、ビームモニター開発などが可能になる。さらに 10mA クラスの高電流のビームがあれば、ビーム負荷による Lorentz detuning の試験および振幅位相変動の制御などの実証が行える。加速器本体に比べて比較的小額の追加投資によって多くの技術蓄積ができると考えられる。

時間的に STF 第 1 期に並行して行うものとして、電解研磨設備の建設および空洞製作費節減のための研究がある。現存の電解研磨設備が老朽化が激しく、STF 第 1 期の 8 空洞の製作には耐えられると見られるが、それ以降については根本的な増強が必須である。電解研磨は日本が世界をリードしている。以下に述べる STF 第 2 期計画が実際どのようなものになるにせよ、電解研磨設備の増強は重要である。これによって、例えば日本で製作した多くの空洞を海外で使用することも可能になる。空洞製作費の節減については、ニオブ銅クラッドおよびシームレスの技術により大幅なコストダウンの可能性がある。コスト削減は ILC 実現のための重要な問題である。この開発は上記の試験と並行して行えばよい。つまり、試験クライオスタットに入れる空洞は従来の方法で作れ、別にニオブ銅クラッド・シームレス技術が完了すれば、両者を合わせる段階で新たな技術を必要としないであろう。

(3) STF 第 2 期(2007-2009)

35MV/m 空洞 12 台を収容するクライオスタット 3 台を製作し、それに伴う RF 源および冷凍設備の増強を行って、ビーム付の総合試験を行う。(45MV/m 空洞の開発が順調であればそれを使う。) この段階(を計画する)に際しては GDI によるコーディネーションが機能すると思われるので、計画の実際は現時点では極めて不確定である。いずれにしても、TDR 執筆のためには世界のいずれかの場所で長いクライオスタット 3 台程度のビーム付試験が必要であろう。アジアの技術レベルを上げるためには、また今後の超伝導技術の応用のためには、規模の詳細は別にして STF 第 2 期のような施設が日本にできることが望ましい。

(C)に関して、現有設備に大きな拡張を要しない範囲については以下のように計画する。

- * Fast Ion 不安定性、ウィグラー磁石のもとでの力学口径、などのビーム力学研究。
- * Laser wire, cavity BPM、などのビーム診断機器の開発継続。

- * 取出しビームの emittance および安定性の改善

- * 取出し kicker の開発・試験

特に kicker は緊急の課題である。2005年8月に減衰リングとして従来 TESLA で考察されてきた dogbone 型を採用するか、線型加速器とトンネルを共有しない小さなリングを用いるかの決定がなされるはずである。小さなリングの場合特に kicker に要求される性能が厳しい。この時点までにすべての要求を満たす kicker を製作することは不可能であるが、数年後に可能になるか否かを確信できるだけの結果を 2005年8月にまでに出す必要がある。一方、この kicker の開発には、ATF を用いて ILC 型のビーム(約 300ns 間隔)を作り各種診断装置の開発に役立てるといふ、より長期の目的もある。

ILC(第1期)では高さ 5nm の微細なビームを衝突させるが、問題となるのはこの小さなビームを最終収束系で作成維持できるか、微細ビーム同志の衝突を安定に保てるか、ということである。これについては SLAC-FFTB で 1997 年までに実験が行われて約 60nm のビームサイズが得られている。一方、ATF の取出しビームラインを拡張(仮称 ATF2)することにより約 35nm のビームが得られるはずである。FFTB ビームサイズからの改良は目標の 5nm から考えれば大きな進歩ではない。しかし、FFTB ではビームサイズの長期間にわたる維持、ビーム位置の安定化の試験は行われていない。これらは高いリミノシティを得るためにぜひとも必要な技術である。位置の安定化については実機ではナノメートルレベルが要求され、これは ATF で得られるビームサイズよりはるかに小さいが、現在 ATF で開発中の nanoBPM の技術を用いれば可能とみられる。この ATF2 案に関しては米欧グループの関心が高く、国際協力で建設することも十分考えられる。この研究は CDR には無関係であり、緊急性は低い。衝突交差角などの全体に影響を及ぼすいくつかの点を除けば、最終収束系の設計作業は ILC 建設開始後も継続されるであろう。さらに、チューニングの経験を積むという点でも ATF2 は重要である。これによって、ILC の実機での commissioning の時間を減らせるであろう。また、現在 ATF はビーム物理の分野での国際協力の場合、また新人獲得・教育の場になっており、このアクティビティを保つためにも ATF2 はぜひとも建設すべきである。

以上の(A)(B)(C)に含まれない個別の課題もいくつか考慮する。

- * KEKB における陽電子生成標的破壊実験

- * 偏極電子ビームの生成

陽電子生成法として、TESLA で考察されてきたアンジュレータを用いるものと、電子ビームを標的に当てる従来からの方法があり、これも kicker と同様 2005年8月に決定されるはずである。後者の方法は電子側との運転上の干渉がないが、標的が耐えられるは否か疑問がある。上記の前者は KEKB のダンプビームを標的に当て、破壊の試験を行うものであり、kicker と同様の緊急課題である。陽電子生成試験そのものはアジアでは計画しない。偏極電子ビームの生成については技術的に十分可能と考えられているが実用化には更なる研究が必要である。これに関しては名古屋大学のグループが世界をリードしており、これに協力するという形になる。

以上の方針のもとに当面(特に 2005 年度)の予算を次のように提案する。

- * Kicker 開発のうち、strip-line kicker は緊急に開始し、2005 年度前半までに結論を出す。Fourier kicker は、現在提案されている計画が成功しても減衰リングの選択に資するだけのデータを出せる見込みがないので、先送りする。(遠い将来減衰リングのパンチ数を増加するというような要請があって再検討される可能性はある。)

- * 当初提案されていた 45MV/m の空洞の superstructure 化については、45MV/m 空洞のクライオスタット試験が最優先であり superstructure 化はこれを遅らせる可能性があること、superstructure の縦試験のための設備に予算が必要となる

こと、の2つの理由により、2005年度予算からははずす。4空洞試験の次に、さらに多空洞試験に移るか superstructure 化を優先するかの検討はいずれ行う。

- * ニオブ銅クラッド・シームレス技術の開発は並行して行う。2005年度はそのための設備の建設を行う。
- * 電解研磨設備の建設は2006年度とする。
- * ATF 拡張計画については国際協力がどのような形になるか現時点では不明確である。

総額は約2.8億円と見積もれるが、このうち床工事費用などに必要な約0.6億円以外はアジア・北米・ヨーロッパ2地域の国際協力で賄うことを考える。床工事は2006年夏のATFシャットダウンを利用して行う予定であり、2007年初の運転開始を目指す。詳細なビームライン案は、2004年12月11日の nanoBPM mini-workshop (KEK)、2005年1月5日の ATF2 mini-workshop (SLAC)を経て、国際協力で決められる予定である。ただし、海外からの予算に関しては、いつ決められるかいまのところ未定である。

long-term Plan of KEK ILC-study

