

1. はじめに

KEK LC グループでは 2004 年の超伝導技術選択以降、2 つの異なる形状の加速空洞の開発を並行して進めて来たが、2007 年度年頭に示したように、2008 年度開始までに開発の方向を整理することにしたい。この時点でこれを行う理由は

- このままの形で開発を二つ並行して継続して行くことは、予算およびマンパワーの上でむずかしい
 - 現在の STF Phase2 の予定では、2008 年度に空洞およびクライオモジュールを設計し、2009-2010 年度にかけて製作、試験、設置、2011 年度以降にシステム運転を行うことにしている。予算状況、STF Phase1 の進行状況などのためにこれより幾分遅れる可能性はあるが、仕様の主な部分はまもなく決める必要があり、空洞の形状は 2008 年度の計画を立てる時点で決定しておくべきである
- である。

一方、GDE ではこれまで 2010 年半ばを目標に Engineering Design Report をまとめるという計画であったが、今年に入って次のように予定が修正された。

- 2010 年半ばまでを Technical Design Phase 1 (TDP1) として、開発項目・コスト低減に重点をおく
- 2012 年までを TDP2 とし、国際的なプロジェクト承認に必要な Technical Design を完成させる
- 詳細設計、技術の工業化などはそれ以後建設開始までに行う

空洞の加速勾配に関しては、35MV/m を超える空洞の生産歩留まりを、TDP1 に 50%、TDP2 に 90%まで引き上げることを目標としている。クライオモジュールの設計も TDP1 の重点項目のひとつであり、2009 年おわりまでに冷却系設計やビームダイナミクス検討に目途をつけ、2010 年には三領域それぞれでクライオモジュールを運転、すくなくとも一台で平均加速勾配 31.5MV/m を目標とする。1RF ユニットの建設・運転による技術確立 (KEK の計画では STF Phase2 に相当する) は TDP2 の重要なテーマであり、これは KEK のスケジュールと整合している。

2012 年の Technical Design 完成を目標とするなら、ILC に用いる空洞の形状は TDP1 終了ごろまでに決定すればよいと考えられる。したがって、今回の KEK の選択はそれよりかなり早いものとなるが、STF Phase2 は ILC 加速器のひな形として建設するものであり、GDE の最終決定をリードするものでありたい。

ILC のような大規模な国際的プロジェクトの場合、設計仕様の統一による利点と、競争的開発の利点のバランスが重要である。後者の利点を生かしながら最終的に整合したひとつの加速器を組上げるためには、plug-compatibility の概念が不可欠である。すなわち、各コ

ンポーネントの内部は異なっても、外部との空間取り合いと接続の仕様が決められており、これを満たす限り部品交換を可能とすることである。STF Phase2 の設計は ILC の Technical Design に先行し、したがってデザイン細部は異なることになるであろうが、plug-compatibility を満たしていれば ILC 加速器のひな形として機能するであろう。一方、同じ意味で、空洞の形状に関しても plug-compatible であれば、かなり遅い時点でも変更可能であろう。

空洞形状としては、考慮に値するものとして

- GDE の現在のベースラインである TESLA 型空洞（いわゆる TESLA-short）
- KEK の新規デザインの TESLA-like 空洞
- Low-Loss 型空洞

の3つがある。カプラー・チューナー・ヘリウム容器は、空洞形状選択とは一応別個の課題として考えられるが、STF Phase2 の設計と言う点でこれも今回の検討の対象である。

空洞を選択するにあたって、昨年夏以来幾度かの LC グループ内の会合を開いてきた。第一段階として、TESLA-like 空洞を推進するグループからの論点、Low-Loss 型空洞を推進するグループからの論点を TESLA 型空洞や他の空洞と比較しながら論じてもらった。第2段階として、推進室からの論点にそれぞれのグループから回答をしてもらい、それを比較検討した。推進室の行う選択判断の規準は以下の通りである。

- (1) STF phase2 は単に空洞周りの試験だけでなく、加速器システムとしての試験施設である。したがって、勾配などの要求のほか、確実に動作して他の部分の試験を妨げないことが最低限の条件である。
- (2) STF phase2 は、ILC でのシステム実装のひな形構築と、SRF 線形加速器建設に関する技術工業化の先鞭たることを目指すものである。したがって、そこに KEK が集中して推進する空洞は、GDE で検討中の plug-compatibility の条件を満たしつつ、ILC に必要な性能を満足し、かつ、願わくば TESLA 型空洞性能を上回り、技術的にしっかりしたさらにコスト的に太刀打ちできる空洞システムであること。
- (3) 過去 2-3 年の開発経過において、関連グループは全力を尽くしてきたところではあるが、上(2) の観点で見たとき、GDE 全体で技術的納得と合意を得るには、「理論」、「計算」、「シミュレーション」、「実証的データによる検証」などが出来る限りよく整理されて、説得力をもつ内容とスタイルのものであることが不可欠である。これまでの作業は、この点においてどのような出力が得られたか、を判断する。
- (4) 上記(3)に関する関連グループの実績と展望に加えて、技術的側面に注目した場合、限られた時間で成果を出したい STF phase 2 では、空洞設計製作（含デバッグ）において、大きなスケジュールのぶれに遭遇するのは避けたい。R&D において不測の問題は日常事また相当程度不可避の事ではあるが、予見しうる事態への検討・対処

をあらかじめ見越しておくのは、大きな予算を使うグループの責任である。したがって、提唱される空洞方式は、現実的な見通しをもって、2-3年以内で STF2 phase 2 マイルストーンをクリアし得る程度に、技術的不確定性は押さえこみ済みかどうかを判断する。

2. 結論

LC 推進室では以下のように判断する。

- (A) STF phase 2 には TESLA-like 空洞を用いる。
- (B) GDE の設計との Plug-Compatibility の設定に寄与すると同時に、一旦合意した Compatibility 条件は必ず満たすこととする。空洞に付随するカプラー・チューナーなども、基本的には、現在の TESLA-like 空洞グループが開発しているものを STF phase 2 で用いるが、今後具体化される Plug-Compatibility の仕様に合わせなければならない。
- (C) LL 型空洞は、将来の可能性を鑑みて、カプラー・チューナーなどの周辺機器を除く、空洞単体としての開発を継続する。

TESLA-like 空洞を選択する理由は以下の通り：

- TESLA-like 空洞では、加速勾配はまだ低いが、Lorentz detuning の補正に関する結果は計算とほぼ整合しつつあり、TESLA 空洞との比較のための計算を遂行中。一方、LL 型空洞は 3 月の STF0.5 の測定で大きな進歩がえられたが、理論計算と測定の突き合わせ比較はまだ十分でない。
- HOM Damping に関して、TESLA-like 空洞では実験的評価（ただしビームを使うものではない）がほぼ確立されている。LL 型空洞での実験と計算については、突き合わせ作業がまだ残されている。
- 加速勾配に関して、最近では世界的に field emission が克服されつつあるが、KEK ではいずれの 9 セル空洞も十分な性能が実証されておらず、現状の加速勾配の到達程度をもって今回の選択の根拠とするには不足である。
- カプラーについてはいずれも大電力での性能が実証されているが、LL 型空洞の場合熱侵入に関して積み残しの検討箇所がある。
- エンドプレート材料について、TESLA 型空洞では、TESLA で実績あるチタンを採用した。一方、LL 型空洞ではステンレスを採用した結果、ニオブ-ステンレスの接合部処理が必要となり、この部分の長時間運転における実証確認がまだ完了していない。

これらの技術的詳細については次節に記載した。

しかしながら、TESLA-like 空洞に関しても、STF phase 2 に使用するためには詰めなければならない点が、以下のように多々ある：

- TESLA 空洞と比較して Lorentz Detuning が設計もくろみ通り抑制されている事の実証。
- HOM damping が TESLA 空洞と同等以上の性能である事の実証。
- 電界性能が TESLA 空洞と同等以上の性能である事の実証。
- 固定カプリング入力カプラー方式の優位性もしくは妥当性の論証。

- Plug-Compatibility を満たす設計への変更。
- Plug-Compatibility を満たすチューナーの設計

また、現在の TESLA-like 空洞設計は ILC の Baseline と合致していない点がある。

- 空洞本体の形状の違い
- ビームパイプの長さ、径
- カプラーのタイプ

さらに、以下の点については、GDE 内でのすりあわせ議論がまだ必要と考えられる。

- フランジ、および、そのシール方法
- 磁気シールドの方法

はじめに述べたように、GDE としては Plug-Compatibility の制限のもとで設計の自由度を残し、より性能の高いものを開発するための活力とする方針である。したがって、ILC の Baseline と合致していないからといって、直ちにそのまま ILC に不適、というわけではない。チューナーのように、ILC の Baseline が決まっていない項目も存在する。また、Plug-Compatibility の概念は合意されてはいるが、その具体的仕様については未定の部分が多い。今後 GDE 内の議論により煮詰められるはずであるが、KEK としてはその仕様策定にあたって積極的にリードして行くべきである。

LL 型空洞は、もともと、より高い加速勾配を追及するものである。現在の ILC 設計では加速勾配はコスト・ミニマムよりかなり低い位置に設定されており、かつその勾配も技術的には十分確立されていない。コストが ILC 実現のための重要な要素のひとつであることを考えれば、加速勾配の問題はゆるがせにできない。したがって、高加速勾配への指向の観点から、LL 型空洞の開発継続は将来にわたって一定の意義をもつものとする。STF phase 2 では採用しないが、今後の開発研究しだいでは実際の ILC の最終設計に採用される可能性も残されており、さらに遠い将来であるが ILC 第 2 期では Baseline にもなっている。空洞パッケージとしての開発継続が望ましいが、資源の問題がこれを許さない。LL 型空洞のメリットは加速勾配であるから、空洞単体としての開発継続でも意義を失わないであろう。Plug-Compatibility はここでも必須条件であるが、空洞単体としてはこれはゆるい条件である。

以上の方針に基づいて推進室では関係者と相談しながら、新しい LC グループの体制、STF1 を含む今後のスケジュール、EP 設備の運用の方法、今年度予算などについてすみやかに決めてゆきたい。ILC 超伝導技術開発における KEK の役割はますます重要なものになってきている。今回の軌道修正を今後のあらたな発展への出発点としたい。

3. 技術的比較

本節では各グループから提出された報告を表の形にまとめ、推進室の意見を述べる。比較項目を次のように整理した。

- Lorentz detuning 補正
- HOM damping
- 加速性能クライオモジュールへの整合性
- 入力カップラーの整合性
- 高圧ガス申請時の問題点

この節については今後詰めるべき部分も多く、ここではドラフトとするが、結論を左右するような変更はないと考える。

(1) Lorentz detuning 補正性能に関して:

Lorentz detuning 質問に対する回答の比較表は以下のとおり。

31.5MV/m および 2K において	TESLA like 空洞		LL 空洞	
質問項目	計算 (推定)	実測 (実証)	計算 (推定)	実測 (実証)
Piezo 振幅のマージン は?	必要なストロークの推定値は $1\ \mu\text{m}$ で、マージンについては内的、外的ドリフトの様子を調べて決める。	2007.10-11 に実験。Piezo 振幅はスタティックで 2K、400Kg tension 時、0-500V により 150Hz 程度変化させる事ができた。これはストローク $1.0\ \mu\text{m}$ に相当する。最大電圧 1000V でも運転できる事を確認しているので $2.0\ \mu\text{m}$ までストロークをとれ	31.5MV/m に対し $0.87\ \mu\text{m}$ 短縮。piezo は $160\ \mu\text{m}@80\text{K}$ で、2K でのストークはその $1/40$ で 4 ミクロンの設計である。 31.5MV/m での Piezo 伸縮による L.D の補正量は、赤道部での L.D 補正を含めると $0.87\ \mu\text{m}$ より少し大きくて $1.23\ \mu\text{m}$ である。したがって、3.2 倍のマージンとなる。	2008.2-3 に低温実験。2 K での Piezo 振幅 (Static) は、 $0 - 1000\text{V}$ (DC 電圧) で、 750Hz 程度変化させる事ができた。これはストローク $2\ \mu\text{m}$ に相当する。

		る。しかしながらヒステリシス、非再現性、フリクションがある。		
Piezo 寿命のマージンは？	10^{10} 以上のパルス	パルスデータはない。寿命試験が必要。	Piezo の寿命は、5Hz で年間 6000 時間、20 年の運転とすると、 2.2×10^9 回。安全を見て 5 shot での運転とすると 1.1×10^{10} 回。マージンはこの 1.5 倍として 1.5×10^{10} 回。ただし piezo に負荷をかけない設計である。	寿命に対するマージンはデータがないので不明。試験が必要。
空洞の変形量と許容値に対するマージンは？	空洞変形補正に必要な piezo stroke は $1 \mu\text{m}$ 。現状の piezo は $2 \mu\text{m}$ まで動かせるので 2 倍のマージン。	2007.10-11 に実験。18MV/m での実験値 150Hz detuning with 1000 μs flat-top からの 31.5MV/m での外挿値は $1.5 \mu\text{m}$ であるが、より深い LD の理解をシミュレーション計算により行なっている最中である。LD の測定方法、オフセットの効果など	31.5MV/m に対し $3.45 \mu\text{m}$ 短縮。ただし、これらの計算はニオブの比重を 1/100 にしていたことが判明。要再計算。	2008.2-3 に低温実験。Slow Tuner による Offset 無しの場合、18MV/m での実験値 detuning = $23^0/153$ Hz (Flat-top 内) を得た。これより、31.5 MV/m での単純な外挿値は detuning = 469 Hz となる。今回、Piezo (4-cycle sine-wave 電圧印加) にて 460Hz (pk-to-pk) の最大振幅を得ている。振幅の測定装置の感度が 460Hz で飽和しているので、実際はそれ

		を理解した後、マージンの数値は後日報告。		以上の振幅を得た可能性がある。また、現在の最大振幅は、Piezo 電源の性能で制限されている。Piezo 電源の強化により、マージンは増えると予想される。
空洞変形量その他への影響は？	空洞変形による、field flatness, HOM などへの影響は（マイクロンの話なので）全く無視できる。		Lorentz detuning は 1.3 μ m 程度であり、空洞変形その他への影響はない。	
LLRF からの許容位相幅（ ± 50 Hz）に対するマージンは？	補正誤差は 50Hz 以下を目標とし、2 倍程度のマージンを目標にしている。	2007.10-11 に実験。18.2MV/m で補正の結果ノイズレベルも考えて 2 $^{\circ}$ (25Hz) 以下に押さえ込まれている。31.5MV/m では 75Hz 以下と推定される。	後日回答。	2008.2-3 に低温実験。17 MV/m において、LLRF Feed-back 無しの条件で Piezo On にして補正を行い、ノイズを含めて 2 $^{\circ}$ (13Hz)以下に押さえ込むことができた。2 $^{\circ}$ (13Hz)の内訳は、ノイズ（Microphonic 実測 6Hz を含む）が大きく寄与していると考えられる。31.5 MV/m では、detuning とノイズの割合が不明であり、簡単に予測はできない。単純計算の外挿では 7 $^{\circ}$ (46Hz)以下となるが、Microphonic

				は Eacc に寄らず一定と考えれば、46Hz よりかなり小さな値となることが予想される。
(補正方法) 参考までに。	オフセットと piezo シングルパルスによる。		オフセットと piezo パルス (1-2パルス) による共振励起補正。	

推進室コメント：

TESLA like 空洞：

LD による変形を小さく押さえ込んだ設計により、補正能力は TESLA 空洞より 1.7 倍余裕があるとされ、設計方針と推定計算方式、それを実現するハードウェアの設計の論理には説得力がある。2007年11月の STF0.5 での $\sim 19\text{MV/m}$ 運転における実験の段階では、本方式の補正能力の上限が完全に押さえられたわけではないが、現在、シミュレーションなどにより LD と測定値との関係が検討されつつある。 31MV/m - 35MV/m での運転を想定する STF2 に向けての真の外挿はこれからの課題であるが、チューナが果たすべき機械的能力の理解にかんする技術的不確定性は小さいと思われる。長期運転におけるフリクシオンやヒステリシスなどによる性能不安定性、チューナシステムの保守性ほかは今後の課題である。

LL 空洞：

45MV/m 運転を念頭に置いているため、piezo を 80K に置き、 45MV/m の detuning をカバーできるような設計である。この空洞を 31.5MV/m で運転する場合には、十分なマージンがある。しかしながら、当初推定計算でニオブ材質にかんするパラメータ前提にエラーがあり、それを正した再評価はまだ存在しない。また、共振励起を用いた補正方法にかんする評価が十分でない。したがって、今回の STF0.5 での実験結果解析と設計意図の突き合わせ上の原理的問題が現在残されている。今回の STF0.5 では、 18MV/m において、位相補正の安定度が 2 度以内という結果を得たが、 31.5MV/m における信頼性とパルス毎に安定な補正が可能かという問題は今後の課題である。

(2) HOM damping 性能に関して：

まずはじめに、単セルおよび 9 セル空洞における HOM 性能の理論的、実験的評価データの推進室への報告の有無の状況は以下のようなものである。

	単セル空洞 HOM	9 セル空洞 HOM
--	-----------	------------

	計算	モデルまたは実機の実測	計算	モデルまたは実機の実測
TESLA 空洞(DESY)	?	?	○	○ (実機)
TESLA like 空洞	○	○ (銅モデル)	×	○ (実機)
LL 空洞	×	×	○	× (実機; 新出データを現在整理中)

つぎに、推進室からの質問にたいする両グループからの回答は以下の表のように総括できる。

その他の質問項目	TESLA like 空洞		LL 空洞	
	計算 (推定)	実測 (実証)	計算 (推定)	実測 (実証)
マルチパクタ、ブレークダウン、ヒーティングなどの問題	MP、ブレークダウンの問題は簡単にプロセスできると予測。縦測定ではプローブヒーティングをさけるためプローブを使用しなかった。		新型減衰器でこれらの問題に対し改善した設計。	新型減衰器での実証はまだおこなわれていない。
notch filter 調整上の問題について	問題なし。		設計ではノッチ幅が3MHzで、低温下でもずれは1MHz未満と問題なし。	2K ハイパワー試験にて問題はなし。
他に問題点は何があるか	セラミックフィードスルーの耐久性, 耐電力。		伝搬モードの高次モードの解析が必要。	
今後の開発はどのように行う予定か	ループ角の最適化はPhase1.5空洞で行なう。フィードスルーの検討も2~3年を目処に行なう。		現設計をSTF1で実証してからSTF2向けの改良を考える。	

推進室コメント：

TESLA like 空洞：単セルにおいて計算による評価と銅モデルによる実測評価が行なわれた結果として、計算の正当性が主張されている。9セル空洞 HOM は単セルの計算に基づいて設計されている。9セルそのもののモデル計算はないが、製作された空洞についてネットワーク測定とビーズ実測による性能評価が行なわれ、おおむね良好な性能という事で HOM 減衰性能の評価手法は妥当、と考えられる。ただし、現行設計ではモノポールモードについて Damping の不足がグループで認識されており、今後の改良と実証が必要である。また、9セル空洞の HOM 計算は、遠からず念のため行っておくことが望ましい。

LL 空洞

LL 空洞：単セルでの HOM に関連する作業は実験的にも計算上も行なわれていない。9セルについては、旧設計モデルで HOM の計算による評価、またこれの発展として、新規の設計が行なわれている。ただし、旧設計の実機に対しては実測による評価は行なわれておらず、新規設計の実機はまだ完成していない。結論として、LL 空洞では、HOM の実験 vs 計算の比較調査は、初回ループもまだ閉じていない。

(3) 加速電界性能に関して：

Gradient 性能に関する質問の回答は以下の表のように総括できる。

質問項目	TESLA like 空洞		LL 空洞	
	計算 (推定)	実測 (実証)	計算 (推定)	実測 (実証)
Shape に起因する加速電界の制限問題	我々の技術レベルにより Shape に優劣がつく。FE が問題なら Esp/Eacc の小さい形状が有利、赤道部のクエンチが障害なら Hsp/Eacc の小さい形状が有利。Shape からくる表面処理や水洗の難しさについては、現状の技術では、概ね問題なし。		L-band 加速勾配限界~40MV/m は、臨界磁場による理論限界で決定されているので、Hsp/Eacc の小さい形状が有利。また、LL 形状では高効率性により運転電力が 10 - 20%下がる。水はけ性は、単セルにて無問題。	単セル空洞では 50 MV/m の高電界性は実証済み。9セル空洞では、現在ベスト結果は 36.5MV/m (HOMなし) である。STF0.5 では、Ichiro old 9-cell 空洞で 21.6MV/m(full width:1.5ms)

<p>現状の加速電界制限の問題について</p>	<p>TTF では FE が問題であるが、我々の空洞の 3 台が 20MV/m であったのは、EBW の問題と推測。</p>	<p>X 線の step function 的発生が MP を示唆、また on-set 振る舞いが実験式と矛盾しない (ただし、T-mapping との突き合わせは、かつての DESY の TESLA single cell 以来してない)。単空洞ベスト時の FE onset は Esp ~ 94MV/m 以上。9-セル換算で、Eacc = 40MV/m に相当。9-セルでは、HPR のポンプの汚染等により、性能が大きく制約された。</p> <p>脱脂洗浄に期待。空洞形状に由来する差異は想定しにくい。</p> <p>FE について ;</p> <p>Esp/Eacc 的には若干の不利要素あるが (ICHIRO 2.36、TESLA 2.0)、表面処理の巧拙が dominate すると考える。</p>
<p>加速電界達成の技術的計画</p>	<p>次の空洞で EBW の改善を行なう。前回より少ない CBP、できれば CBP なしで 30MV/m 以上を目指す。その段階で FE の問題は、過酸化水素洗浄やデタージェントによる水洗を試す。水洗工程と組立工程のどちらに問題があるかを調べるのは難解。</p>	<p>9セルでの理想電界の実現は、MP の克服とエンドグループでの FE 克服が必要(最近の実験からの見地)。</p> <p>MP の解決のため析出した硫黄を除去する。脱脂洗浄・アルコールにより積極的な攪拌を加え洗浄効果を高める事、これ以外にも 2 硫化炭素などの硫黄除去に効果のある方法を試す。</p> <p>FE に関しては、MP でトリガーされるもの、洗浄の不十分さから来るものがある。前者は硫黄除去による MP 除去できる。後者は flash EP で対応する。FE の種として硫黄もよく知られており、先の硫黄の除去も FE 削減に効果が期待できる。</p> <p>以上により、9-セル空洞の表面処理には flash EP とアルコール洗浄の組み合わせを試みていく。</p>
<p>今後の開発はどのようなタイムスケジュールか</p>	<p>2008 年 3 月完成予定の次の 2 台で試す。</p>	<p>IES#5-type の単セル空洞を 6 台製作し、pilot study で得られている方法を統計的に調べる。この試験は 2008 年 9 月までに完了する。</p>

		<p>9セルは単セル空洞の結果を見ながら、STF-1に入れる空洞(台数はグループ内で議論中だが2台以上と考えている)で31.5MV/m以上の高電界を出すことを最優先する。STF-1への空洞組み込みスケジュールより2008年9月までには完了する。</p> <p>残りの9セル空洞でS0 studyを行う。</p>
--	--	---

推進室コメント：

TESLA like 空洞：

20MV/mあるいは30MV/mより上を目指す次のステップとしてEBWの改善を挙げている。ハーフセルの端部加工、EBWパラメータの最適化などが対策のうちに含まれると考えられるが、近未来の作業における具体的提案と試験手順については検討中とされている。その次に問題となってくるであろうFEへの対策は、積極的に原因をさぐるというのではなく、最近世界的に試されている洗浄剤を試すものである。とりあえず、世界の趨勢にしたがった加速勾配向上策ではある。あえて苦言を呈するならば、STF2に向けての加速電界到達については、多少「成り行きに依存する展開」の姿勢を感じる。

LL 空洞：

高電界を阻害する原因の在処はセル赤道部というよりはMPとエンドグループのFE、というのがLL空洞グループの見解であり、その対策に、析出硫黄の除去と洗浄能力の強化を挙げている。STF2に向けての加速電界到達については、近未来の作業において単セル空洞での実験、表面分析、EP液自身のクリーニングなどのアイデアが提案されている。しかしながら、析出硫黄が現出する原因追及の計画、単セルから9セルへの応用時の問題解決なども含め、「計画のリアリティーチェック」が必要と感じられる。

(4) クライオモジュールへの整合性に関して：

クライオモジュール整合性質問に対する回答の比較。

TESLA like 空洞グループ	LL 空洞グループ
<p>整合性、適合性の議論は、建設・保守の戦略面からの制約もある。トンネル設置・交換保守についての意志統一は、技術面での意志統一より易しそうなので、技術面での十分な検討も含めて議論を始めたい。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● チューナー、ヘリウム容器、磁気シール 	<p>DESY, FNAL との整合性を出来る限り採ることを基本姿勢としている。しかし、TESLA 空洞との整合性を破る十分な理由がある場合に限り、整合性を超えて開発を進めている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● CC Coupler は、TTF3 coupler との整合性を図った設計。ただし、シール方法は整合性

<p>ド、空洞のフランジ、シールについては、提案している設計の優位性を示し、理解してもらおうと思っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● カプラーのチューナビリティについては、BCD では固定方式は認められていないが、固定方式を採用するとした時に、コールド部のベローズのない TTF3 あるいは TTF5 と比較すれば、その優劣はつけがたいかも知れない。 	<p>を破った MO フランジ。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Tuner は、ILC の BCD が存在していない。KEK で開発している Ball-screw Tuner を ILC の BCD とするべく、十分なデモンストレーションの実施を目指す。 ● ICHIRO 空洞は、全長に関して TESLA-short 空洞と整合性が保たれている。ただし、ビームパイプ径、ビームパイプフランジ (MO フランジ) は異なっている。 ● 空洞 He ジャケットに関しては、ビームパイプ部分と He ジャケットの端板の間を HIP による Nb/Cu/SUS 変換で接続しており、SUS 製である。このため、TESLA 空洞の Ti 製の He ジャケットと整合性がない。 ● 磁気シールドの配置は、Tuner の配置と大きく関係しており、どのタイプの Tuner を採用するのかに依存する。
--	--

推進室コメント：

TESLA like 空洞：

現 TESLA like 空洞技術の優位性を実証し、plug-compatible 条件を満たす空洞としての採用を提案する、という方針。したがって、現 Short-TESLA 空洞パッケージとの完全整合性を必ずしも全面的積極的にとるわけではない。このうち、空洞パッケージの機械強度の増強からはじまるチューナーまわりの優位性主張は比較的良く整理されている。必要なのは、そのような設計（機械強度増強とチューナー方式）を採用することで、ILC 全体としてどのようなベネフィットがあるのか、についての説得力ある具体的ステートメントであろう。担当グループのこの点にかんする検討は 2008 年はじめから本格化しているが、さらなる定性的・定量的評価とその文章化が必要と感じられる。

LL 空洞

現 TESLA 空洞と整合性を積極的にとっていく方針。ただし、シール、チューナー、フランジ、ジャケット、磁気シールドなど主な部分で LL 空洞技術の優位性を実証して整合性を超える意図である。いずれのサブコンポーネントのスキームについても技術の優位性を実証的に論ずるに至るまでの具体的計画が不透明であり、その構図は TESLA-like 空洞の状況と基本的に同じ、と感じる。LL 空洞の優位点として世界で大方の合意を現在得られるのは、表面電流が TESLA タイプより小さくできるはず、という点だけであり、そのベネフィットすら、まだ単セル環境下でデモンストレーションされたに過ぎない。総じて、アイデアは良い（かもしれない）が、実証的議論をもって ILC 空洞の設計転換を迫りうる段階に

は至っていない。

(5)入力カプラーの整合性に関して:

Shape の性能を担保できるカプラー開発

TESLA like 空洞グループ	LL 空洞グループ
<p>入力カプラーと shape とは独立。 テストスタンドでのハイパワーRF プロセスにおいて TESLA like 空洞に必要な性能を達成したこと、Cryomodule への組み込みとそれに続く室温での RF プロセスは順調に行われた。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Capacitive Coupling (CC) Coupler は、テストスタンドでのハイパワーテストで、RF パワー能力(500kW)、マルチパクタ、RF プロセスのしやすさの点で、LL-shape の性能を担保する性能を達成。また、Cryomodule への組み込みとそれに続く室温での RF プロセスで、設置調整のしやすさ、RF パワー能力(250kW)、マルチパクタ、RF プロセスのしやすさを確認した。2008 年 2-3 月の低温試験において、低温での RF パワー能力(250kW)、マルチパクタ、RF プロセスのしやすさを確認した。 ● 侵入熱、ダイナミックロス、カプリング性能に関しては、2008 年 2-3 月の低温試験でデータを得た。カプリング性能に関しては、ほぼ目標の性能が得られた。侵入熱とダイナミックロスに関しては、現在解析中である。 <p>35MV/m をねらう場合と 45MV/m をねらう場合とでの戦略や設計方針の違い</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 35 MV/m をねらう場合には、TTF3 Coupler に比べて明らかな優位性を証明して CC Coupler を BCD にする。製造工程が容易な金属加工部品と高い技術力が要求されるセラミック窓を別部品化して高い歩留まりと低コスト化を図ったことと常温エージング時間の短縮化を実現したことを強調する。マージンに関しては、2 MW のハイパワー試験を行い実証されている。こ

	<p>れは、TiN コーティングによるマルチパクタの低減効果が大きい。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 45MV/m をねらう場合には、高電界を確保するために失うトレードオフのような項目は特にない。セラミック窓を高電界で使用した場合の長寿命を維持するため、必要なセラミックの純度等を実験によってさらに確かめる。
--	---

固定カップリングの入力カップラーに関する質問

TESLA like 空洞グループ	LL 空洞グループ
<p>1) Tunable Coupling の利点は、以下のようである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Coupling のエラーを補正し Flat-Top での空洞電圧をフィードバックなしに Flat に出来る。例えば 10%のカップリングエラーがあると、運転電圧は 0.5MV 程度下げなくてはならず、電力分配比も変える必要がある。空洞電圧が Flat-Top で Flat でないことから、他の空洞電圧を少し下げなければならない。(これは Detune のコントロールでも改善出来る。) ● モジュール組立後、あるいは、運転中に最大電圧が低下した場合にも対応出来る。(これも Detune コントロールで改善出来る。) <p>2) Tunable Coupling のハードとしては、カップラーと 3-スタブチューナーがある。Tunable Coupler の弱点は Warm-Cold 間のフランジの扱いの難しさと、初期投資のコスト (~50 億円) である。3-スタブは定在波の問題がある可能性あり。</p> <p>3) 代案の Detune コントロールは、多少の RF 電力効率の低下という問題はあるが、新たなハードを必要としない。モジュール試験での重要な試験項目である。</p>	<p>我々は、この件については国際的仕様に従う。技術的にはどちらにも対応できる。</p>

推進室コメント：

TESLA like 空洞：

TESLA like 空洞に十分なパワーをフィードできるカプラーとして完成されている。侵入熱、ダイナミックロスについては低温試験で実証の事。コストと取扱の良さから固定カプリングのカプラーを推進しているが、コールド部にベローズが無いような可変であれば、可変タイプと固定タイプの優劣差は小さいという考えと認識する。固定でよい理由についての定量的検討が最近進められているが、これをきちんとした文章で主張していく必要がある。

LL 空洞：

LL 空洞に十分なパワーをフィードできる大電力カプラーとして完成されている。侵入熱、ダイナミックロスについては低温試験で実証の事。このカプラーで 35MV/m をねらう場合には大電力優位性と低コストを証明し BCD への置き換えを推進し、45MV/m で使用する場合には問題なく使用できる事を実証する、と認識する。これらをどのように行なっていくのか、の整理が必要である。

(6) 高圧ガス申請時の問題点について：

高圧ガス申請に関する質問

TESLA like 空洞グループ	LL 空洞グループ
<ul style="list-style-type: none"> ● Phase0.5,1 の結果を検討する必要があるが、基本的に設計変更は無い。 ● 軽量化、組立のし易さ、コストダウンの試みはするが、高圧ガス申請とは関係ない部分である。 	<ul style="list-style-type: none"> ● HOM の polarization (向き) を変える可能性がある。これは液体ヘリウムジャケット外部であり、高圧ガス申請に大きく影響しない。 ● He ベッセルのエンドプレート部の使用材料の変更や再設計が、STF0.5-,1 での実験や高圧ガス対策の結果として必要となるかもしれない。この作業量は現時点では推定できない。 ● 磁気シールドをヘリウムベッセル内に完全に挿入する方式の採用は、最 END half-cell の肉厚増強という設計変更になり、作業量としてはシミュレーションのみではあるが、最適化に約 1 カ月必要。

推進室コメント：

TESLA like 空洞：

STF phase 2 では基本的に設計変更なしに高圧ガス申請に進む予定である。

LL 空洞

He ベッセルエンドプレート材料とデザインの変更、空洞エンドハーフセルの厚みの変更がある可能性が示唆されている。それらの変更があった場合、STF phase 2 以前に実証が必要となり、Phase 2 計画の遅れが心配である。

以上、