

第4回 リニアコライダー加速器レビュー委員会

2009年7月22日

KEK 4号館セミナーホール

<http://kds.kek.jp/conferenceDisplay.py?confId=3344>

委員: 赤井、 生出 (委員長)、 春日、 熊谷、 佐藤康、 吉岡

- 09:00 委員による打合せ (Closed session)
- 09:15 ILC加速器開発の為に国際協力計画と体制 (山本 明) (50')
- 10:05 空洞選択報告, LC 開発の方針 (横谷 馨) (30')
- 10:35 休憩 (10')
- 10:45 STF の組織・計画とILC における役割, 量子ビーム (早野 仁司) (1h00')
- 11:45 TESLA 改良型空洞システム開発の現状と見通し (加古 永治) (1h15')
- 13:00 昼食 (30')
- 13:30 STF クライオモジュールの開発の現状 (大内 徳人) (35')
- 14:05 表面研究 (佐伯 学行) (30')
- 14:35 LL 空洞開発の現状と見通し (齊藤 健治) (1h25')
- 16:00 休憩 (10')
- 16:10 EP 設備, EBW 設備 (上野 健治) (50')
- 17:00 全体に関する質疑 (30')
- 17:30 委員会協議・まとめ (Closed session)
- 18:30 講評

序

第4回KEKリニアコライダー加速器レビュー委員会は2009年7月22日に開催され、巻末に掲載した8本の報告に基づき評価を行った。**ちなみに前回のレビュー委員会は2006年1月25日であり3年間にわたり開催されていない。KEKの重要課題であり、多量の投資を行ってきたプログラムに対してはきわめて不適切な事態であったと指摘せざるをえない。**今後は少なくとも年1回の開催を望むものである。なお、今回のレビューは超伝導加速器試験設備（STF）に限定されており、試験加速器（ATF）など他のアクティビティについては別途速やかにレビューが行われることを期待する。

この間、KEKにおいてはロードマップが発表され（2008年3月）、リニアコライダーのための加速器開発はKEKの公式計画の一つとして明確に位置づけられた。**STFにおいても、第一期計画であるSTF1が、当初見込みからの遅れはあるものの、2008年度に一応の完成を見、また、KEK内EP設備が本格的に稼働するなど、着実な進歩を遂げてきた。**これらの成果は、限られた実働人員など与えられた制約条件のもとでの、各メンバーの献身的な努力の結果であり、決して過小評価されてはならない。

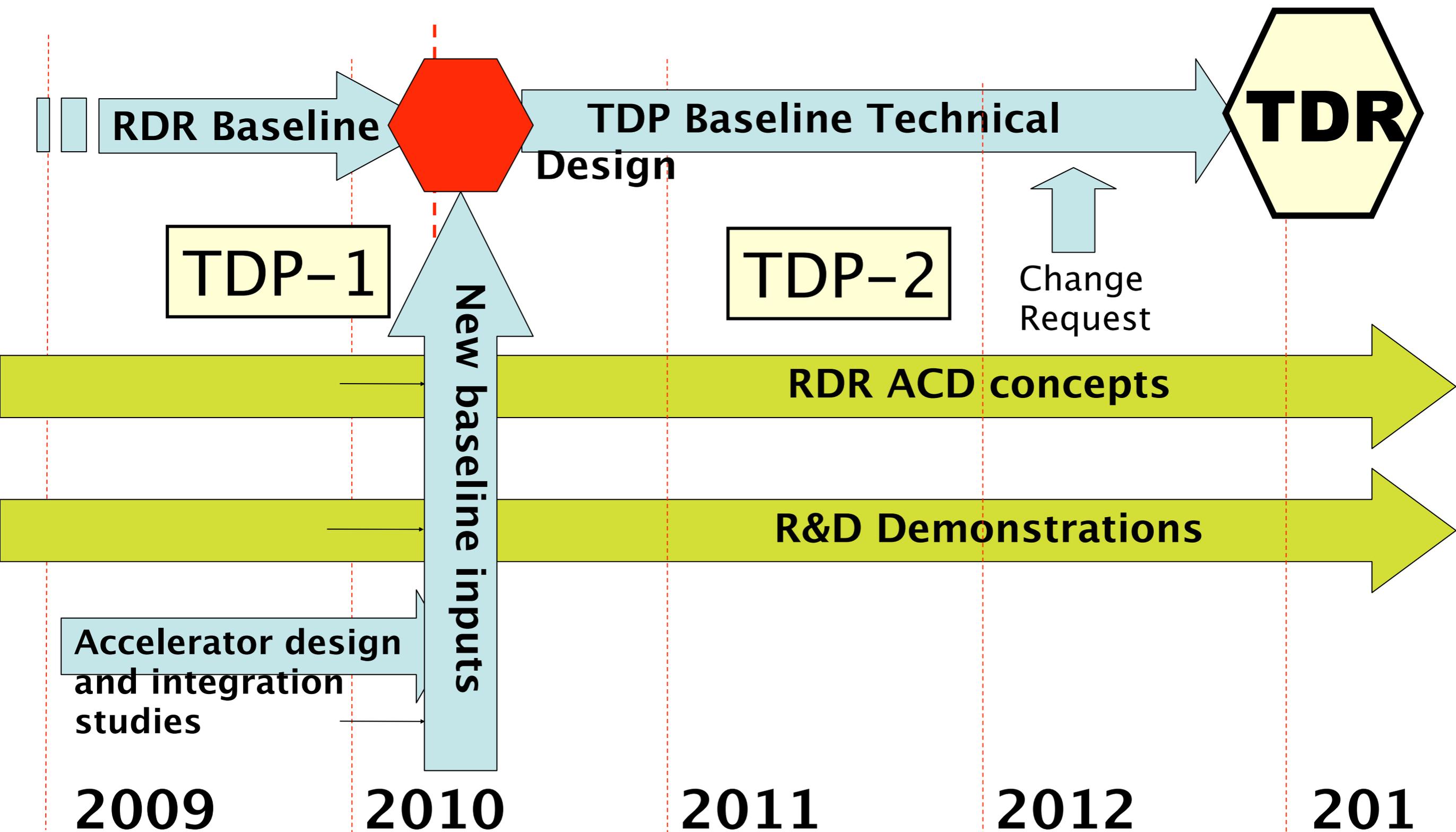
序(2)

一方でILC計画の壮大な目標に対しては、以下に述べるように、現状の到達点にはまだまだいくつかの重要課題が残されている。KEKのILC開発はもちろんGDEの目標を最大限尊重して行うものである。しかしながら、KEKの技術開発に固有のさまざまな課題を克服する事なしに、単に目標期日の達成を行う事はそもそも不可能である。最も慎むべきは、期日内の達成を目指すあまり、形だけ装置を並べて、外部に対してはあたかも物事が進んでいるかのように見せようとする姿勢である。

GDEの掲げる、2012-13年にTDRを完成させるという目標は、GDEの活動に区切りを付ける、と言う点では大いに意味のあることであり、KEKとしても尊重すべきである。しかし、ILCの開発と言う点では、その後のドイツXFEL計画やFermilabのProject-Xからのフィードバックは欠かせない。ILCの開発はより長期的な視点で捉えられなければならない。現状では目標期日よりその技術開発に力点を置かなければならないだろう。



Technical Design Phase and

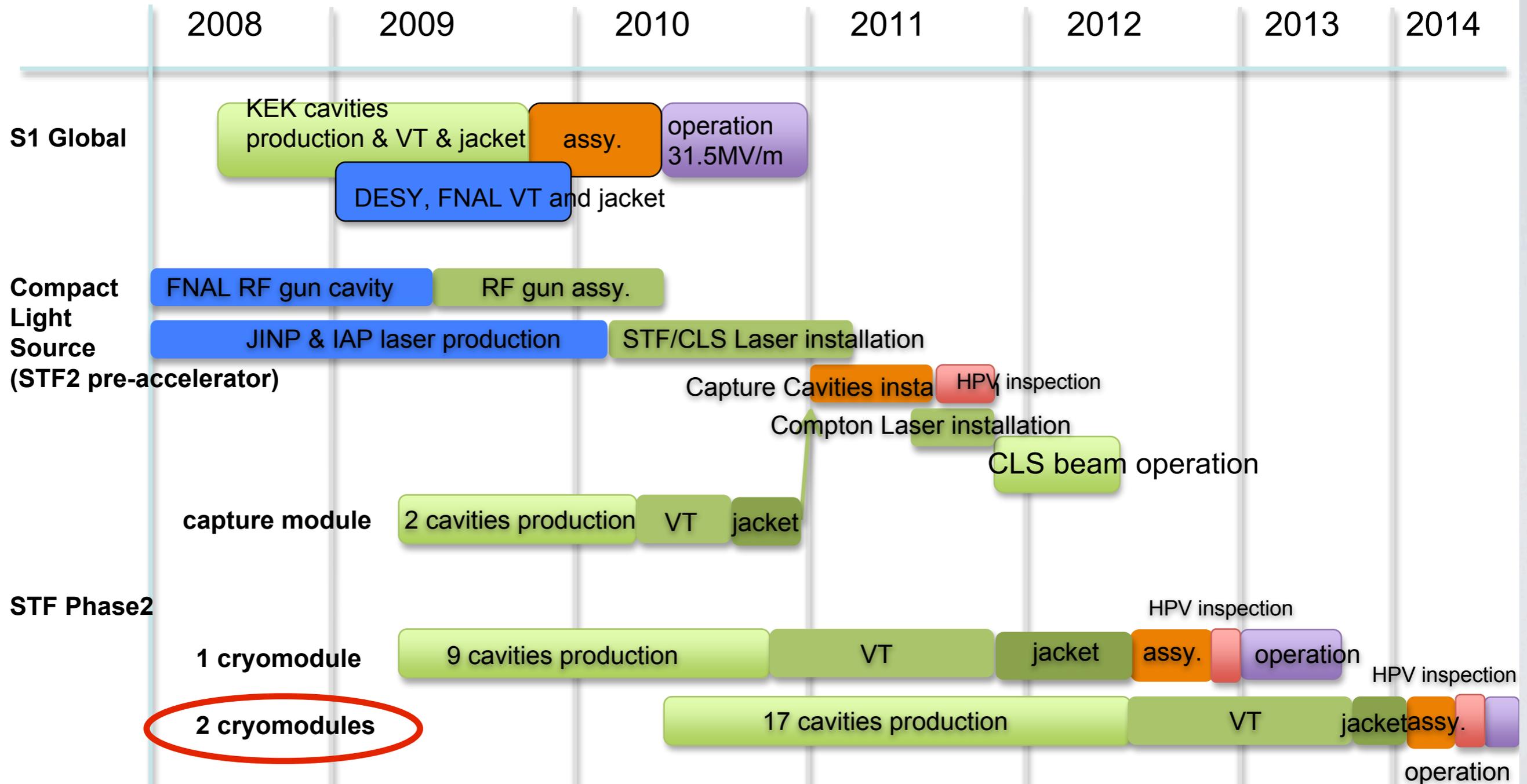


総評と勧告

1. STFのスケジュール: STF2の最初のクライオモジュールの建設に関しては、S1-Globalや量子ビーム実験との整合性などの問題はあるとしても、現時点では許容範囲内である。問題は後続の2台のクライオモジュールのスケジュールで、以下の課題が存在する:

- ・ **最初のクライオモジュールの製作・運転からのフィードバックがかからない。** 一方でいくつかの部品は必ずしも完成したとは言えない状態にあるので、是非このフィードバックを行うべきである。
- ・ 提案された**後期クライオモジュールの必要性は、投下する労力に比して充分見合うものとは感じられない。** これは、たとえば、3クライオモジュールで1RFユニットを構成する、という現状の設計に対しても言えることである。確かにビーム運転やRFの分配調整という問題は存在するが、それらは最初のクライオモジュールによる運転経験から充分外挿する範囲内である。
- ・ **後期クライオモジュールは、提案されているパイロットプラントの有効性を実証する機会**とし、パイロットプラントで製造した空洞を是非組み込んで試すべきである。

Schedule: S1 Global → STF2



総評と勧告(2)

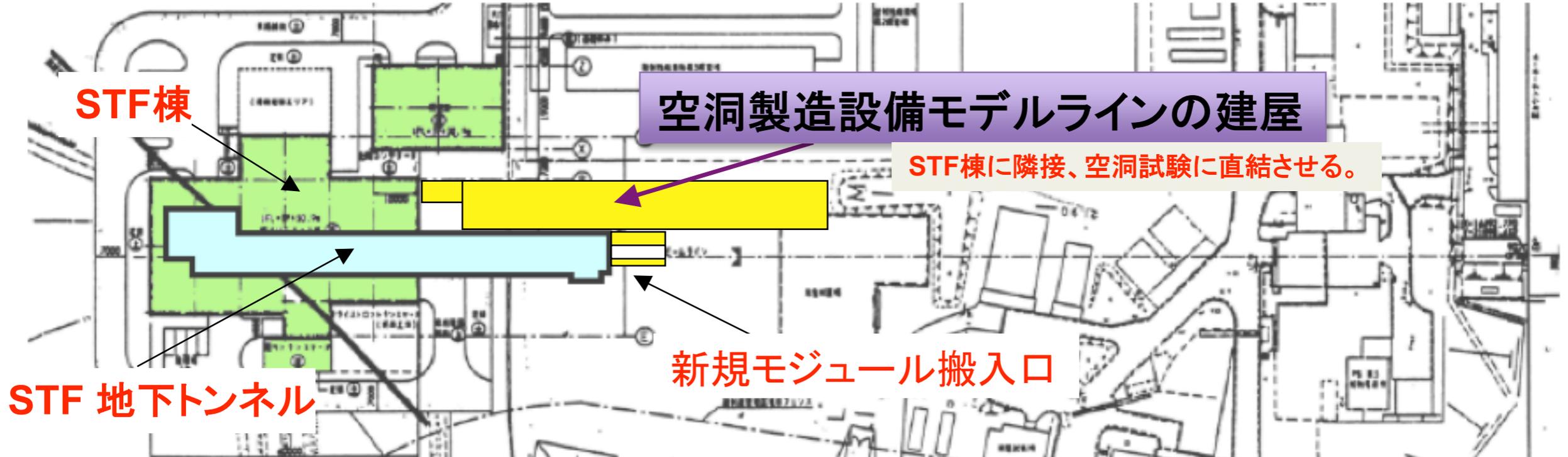
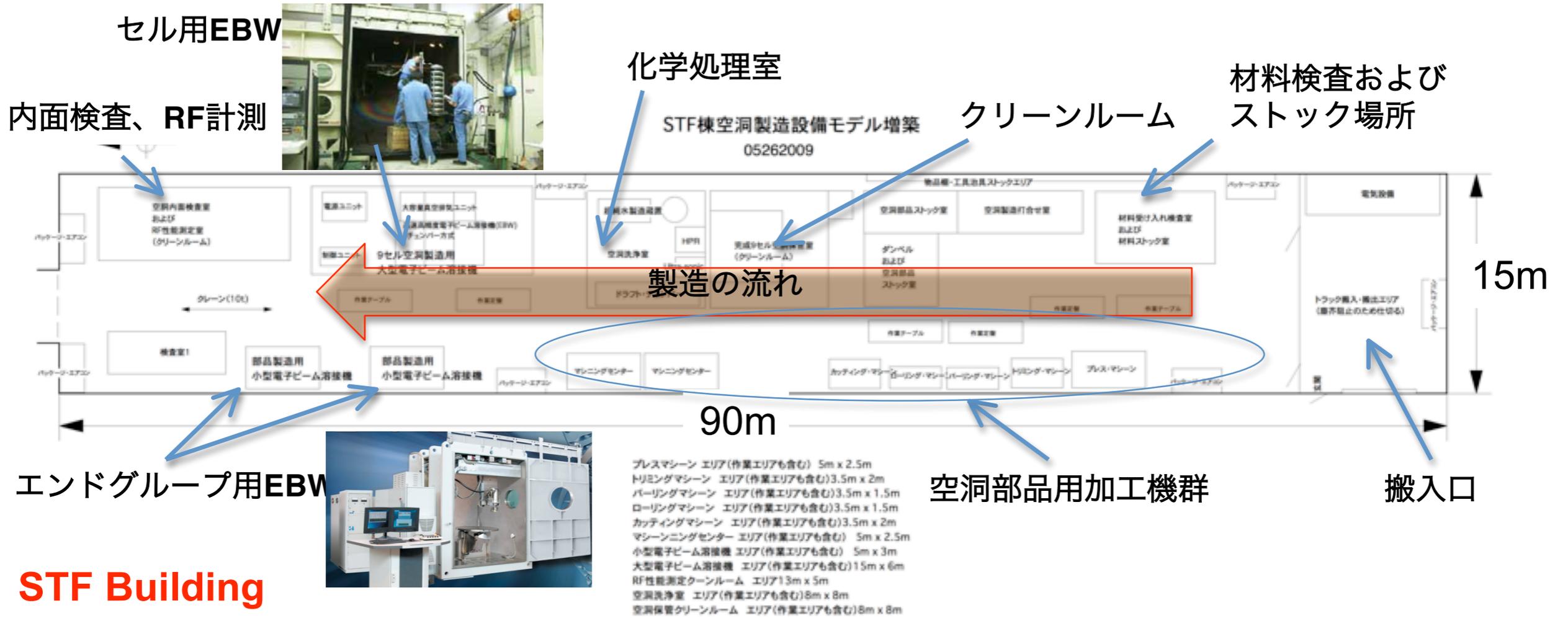
2. 空洞製作のコストダウンは、空洞性能と同様に、常に目標を意識して追求しなければならない。**現状の把握、諸外国との比較を可能な限り行い、1/5に迫るコストダウンのブレークスルー戦略を持たなければならない。** STFでは、単に目標性能を満たす空洞を製作・配置したとしても、コストが目標に届きうる目処がたたなければ、ILCの開発目標としては全く不十分である。

3. **KEK内の空洞製作パイロットプラントは、空洞製作技術の内製化において非常に意義が深く、コストダウンの途も開く。** そのためには例えばEBWに関しても複数の専任職員を確保する必要がある。溶接の条件を確立し、それを会社にも必要に応じて公開していく具体的な計画を持つべきである。そのためには、できれば複数の企業に、初期の段階からの参加を働きかけるべきである。また、上記の通り、STF2の後期モジュールにパイロットプラントの製作品を組み込み実証することは欠かせない。

Relative Cost for Cavity Package Production (as of CY2009)

	Ratio EU-Ind/KEK-Ind		KEK/WG5
	Assuming 140 JY/Euro		
Material	~ 1.1		2.3
Fabrication	3.9	~5.2	3.8>>3.3
Jacketing/ Tuner/etc	1.7		3.2
	+HPC		
Coupler, etc	~ 1.7		
Mag. Sh. etc.	TBD		
Total	~ 3.9		

空洞製造設備モデルラインの設置場所案



各論 1. ILC加速器開発の為の国際協力計画と体制 (山本明)

(報告内容)

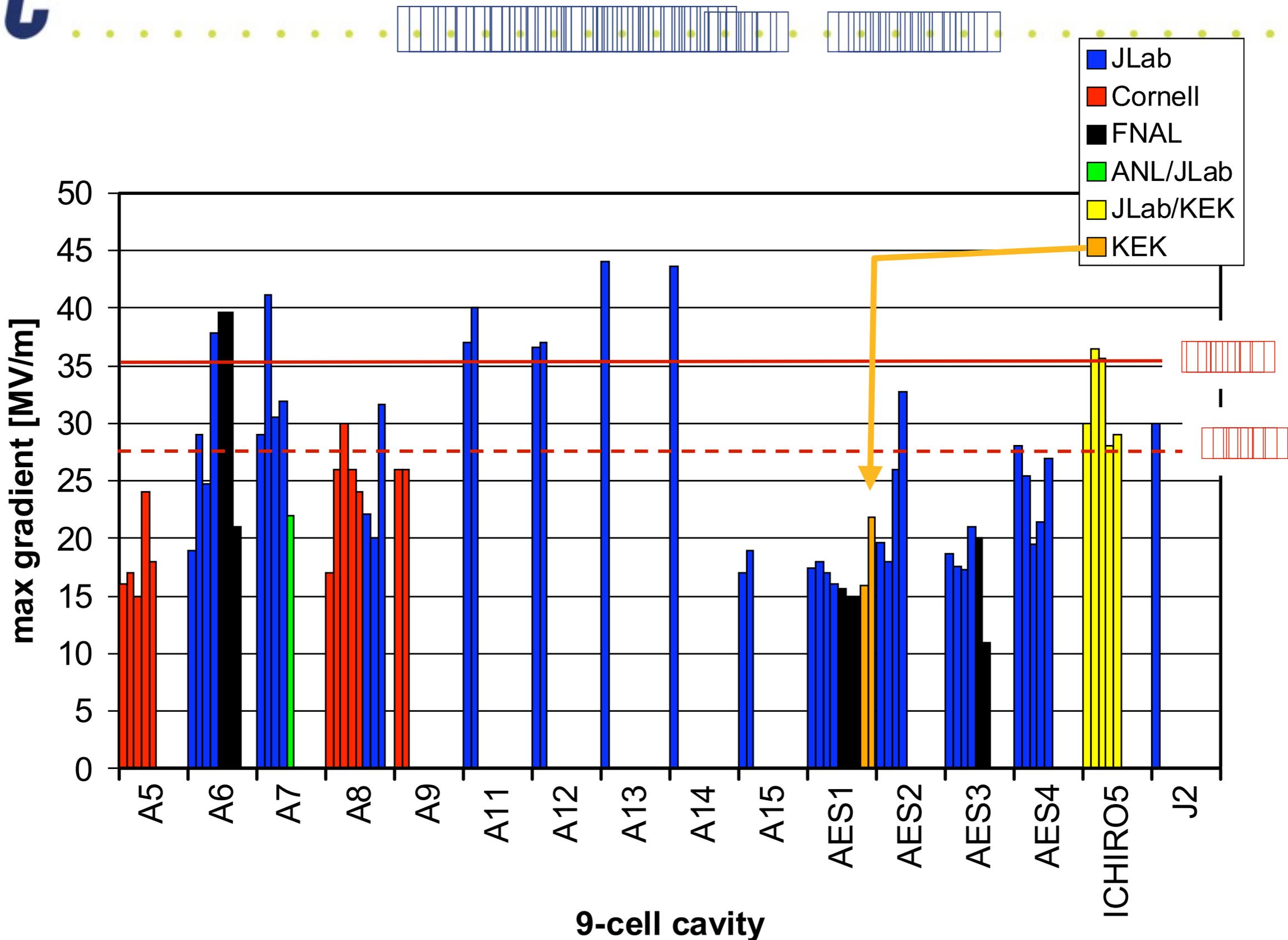
- ・ 国際的なR&Dの進捗状況、空洞勾配の達成度、Technical Design Phase (TDP) への計画、工業化の取り組みなどが報告された。
- ・ GDEとしては2010年にTDP-1が終了した時点でRebaselineを行い、以後2012年までをTDP-2とし、2012-2013年にTDRをまとめようとしている。
- ・ 空洞の製造コストに関しては、補足説明があり、日本のTESLA改良型空洞の場合、ヨーロッパの実績に比して4-5倍高いことが示された。日本のLL空洞の場合はヨーロッパ並み、との算定があるが、これはKEKスタッフの寄与のコストが含まれていないなどの問題があり、単純には比較できない。

各論1. ILC加速器開発の為の国際協力計画と体制 (2)

(評価及び勧告)

- ・ ILC開発のための国際組織はそれなりに整えられ、機能している。特に3名のプロジェクト・マネジャーの役割は大きい。

- ・ 最近の空洞の開発状況を見ると数年前と比較して着実なプログレスが見られる。特に、到達電界強度においてACCEL社が一步リードしているように見える。恐らくEBWおよびその周辺技術において、何らかの進歩があったのではないかと思われる。一方では我が国はやや遅れをとっている感が否めない。**2005年当時の世界的状況からして、当時最先端の座をうかがえる立場にあった我が国のその後の進捗は必ずしも満足すべきものではない。**至急、開発チームの体制をさらに整備し、人的、予算的資源、インフラ等の効率的、効果的な活用を可能ならしめるような努力が急務である。そのためには機構のマネージメントが一次情報を明確に認識し、判断および決断を下すべきである。一方では開発チームは先ず第一にリーダーシップを明確にし（必ずしも一人のリーダーに委ねる必要はなく、例えばトロイカ体制なども考慮すべき）、そのリーダーシップのもとに活動するようにすべきである。**またサブグループ間の自由闊達な議論を制度として確保する必要がある。**



各論1. ILC加速器開発の為の国際協力計画と体制 (3)

(評価及び勧告2)

・空洞の性能評価においては、Q値については例えばILCの目標値である 10^{10} 以上に限る、との**統一的な基準を設けて達成度を評価すべきである**。この点で、報告されたGlobal Database Teamの活動に期待したい。

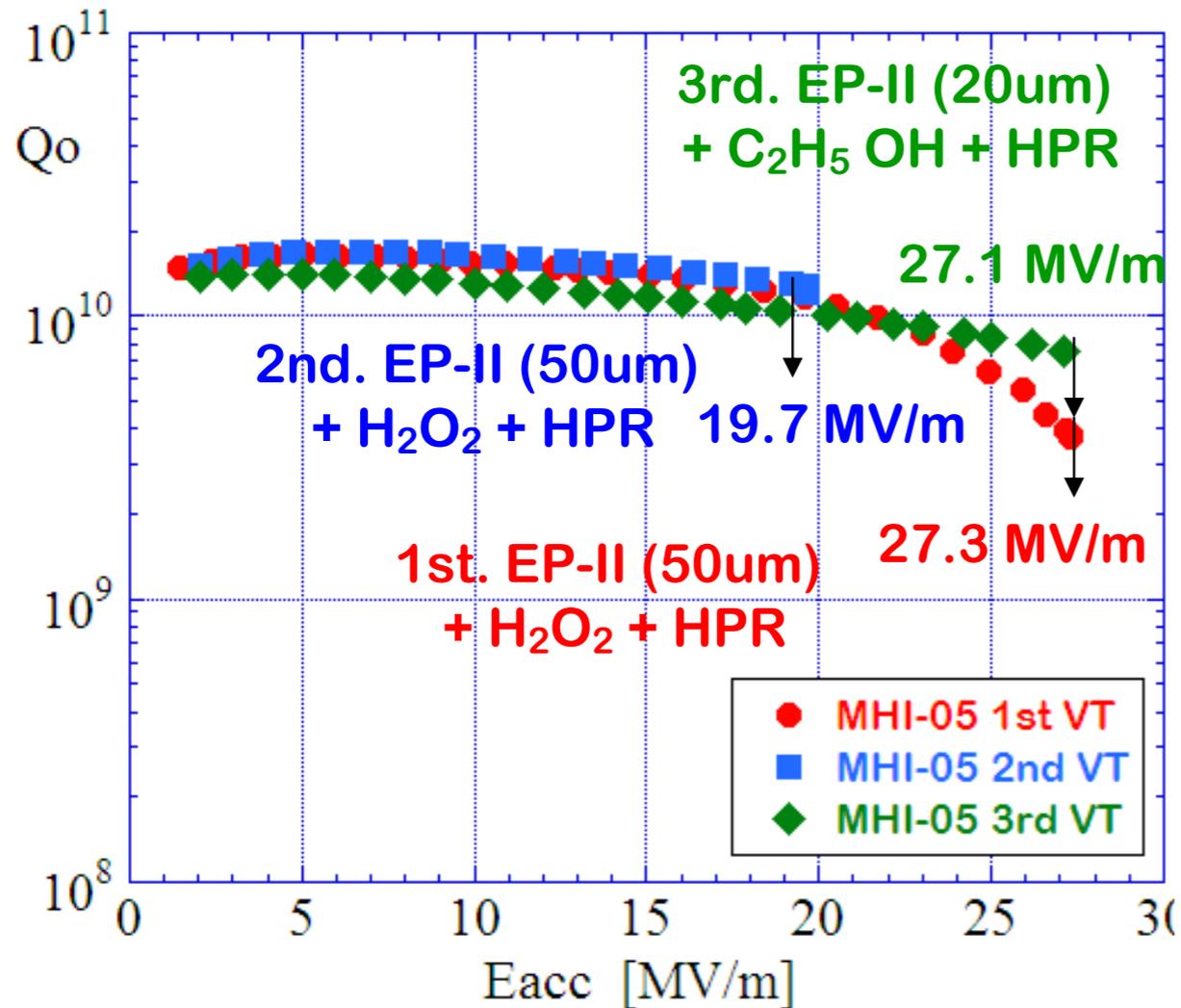
・「プラグ・コンパティビリティ」の象徴的計画であるS1-Globalについては、その意義は認めるものの、資金、人員、スケジュールのいずれもタイトな全体の開発体制の中での計画の位置付け、特にSTF2との関係にやや懸念を覚える。そのSTF2計画は#1および#2,#3と3つのクライオモジュールを作る計画であるが、前半計画の経験を後半計画にフィードバックするようなスケジュールにはないように見える。後述のパイロットプラント活用も含めた**見直しが必要**ではないか。

・3地域の開発拠点を構築していることは、将来の量産体制や各地域の参加意義を考慮して、重要かつ必要である。その中で、ビーム加速まで行う計画については日本の場合、量子ビーム計画との整合性は考慮すべきであるが、そのこと自体が過大な負担にならないような配慮が必要と思われる。

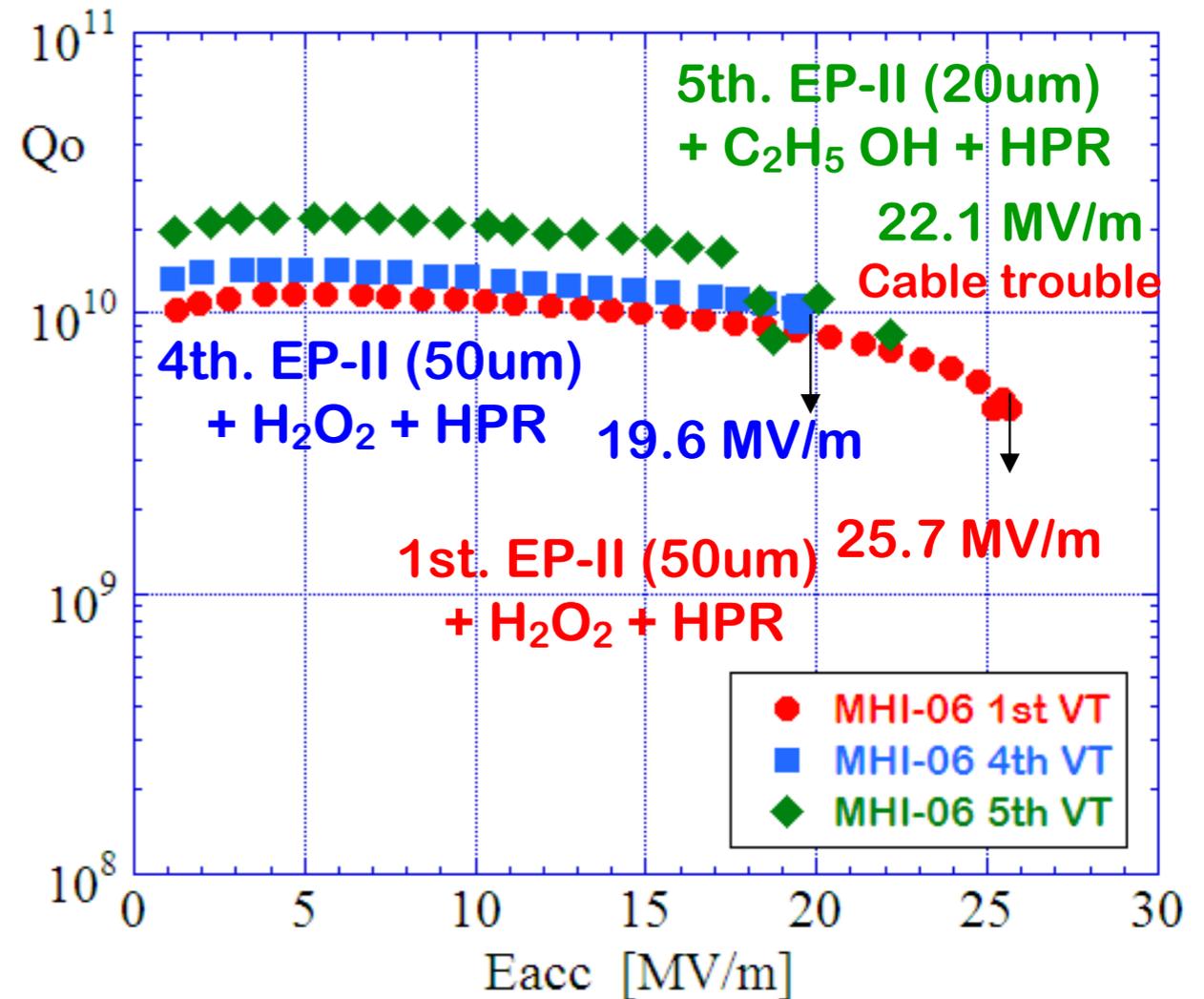


MHI-05, MHI-06 空洞のたて測定の結果

MHI-05 Cavity



MHI-06 Cavity



最大加速勾配はQ値の基準を満たした
状態で評価されるべきではないか？

各論1. ILC加速器開発の為の国際協力計画と体制 (4)

(評価及び勧告3)

高圧ガスにかかわる事項は我が国独自の問題でもあり悩ましいが、先ずは正面から当たって、その上で活路を見出すという基本姿勢と理解する。最初から迂回する解が見当たらない現状においては妥当な判断と理解する。

・工業化については、ILCとXFEL規模とのギャップは大きく、現状ではTESLA計画で作られたモデルが存在するのみである。世界中の企業とコンタクトをもった努力は極めて重要である。今後とも継続的にコンタクトしていくべきと考える。**工業化への活路を見出すためにKEKにパイロットプラントを構築するアイデアを強くサポートする。**ここにおいては第一の課題は、空洞の製造工程を全て掌握し、レシピを明確にすることであるが、将来の量産体制に企業を如何にして巻き込むべきかということを探る意義もあり、その意味において初期段階から企業を取り組む努力が重要である。

・加速装置のベースラインデザインと並行に、**クライストロンの小型・分散化を目指した開発を行っていることは重要**である。一方、シングル・トンネルデザインは場合によっては我が国の地質、地形と整合しないことにもつながりかねない、という懸念も存在する。

各論1. ILC加速器開発の為の国際協力計画と体制 (5)

(評価及び勧告4)

・マンパワーについては、現KEKの規模内で、かつ現KEKアクティビティを低下させずにILC加速器開発を行う方策が必ずしも明快でない。これは、本件の報告者（山本氏）に要望するのは筋違いかもしれないが、新規大プロジェクトを開始する場合対応体制を明確にしておく必要がある。精神論でなく、（新鮮な頭脳を持った）人員が何人必要かを考察しておく必要があるろう。

・空洞のコストダウンは現時点での最大の課題のひとつであり、**常にコストの目標を提示し、それを全員の意識に上らせなければならない**。一方で、現状での高いコストの詳細を吟味し、解決への具体的な戦略を持つことが必要である。

・コストダウンにおいては**ベンチャー企業の可能性**を真剣に検討すべきであろう。現環境下では全ての問題解決を大企業に期待することは困難である。そのためにはKEKでの基礎開発研究だけでなく、**空洞製造パイロット・プラントの建設による製造技術の開発・蓄積が必要**である。

各論 2. LC開発の方針、空洞選択報告（横谷）

（報告内容）

・ STF2での空洞選択で以下の結論に到達した。

A) STF phase 2にはTESLA改良型空洞を用いる。

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。空洞に付随するカップラー・チューナーなども、基本的には、現在のTESLA改良型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、カップラー・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改良型選択の理由としては以下の諸点が挙げられた。

A) Lorentz detuningの補正・ HOM Dampingに関する結果は、TESLA改良型に関しては計算とほぼ整合、LLはまだ十分ではなかった。

B) カッ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。

C) LLではエンドプレート材料にステンレスを採用したが、ニオブ-ステンレスの接合部処理に不安を残した。

D) 加速勾配は、判断基準とするには、いずれも不足であった。

各論 2. LC開発の方針、空洞選択報告 (2)

(評価と勧告)

- ・ **研究開発組織が弱体**である。以前のReviewでも指摘されたことであるが、推進執行部と現場との意識が乖離しているように思える。さらにKEKの人がPMとして重要な役割を果たすことになり、現在では**推進執行部、PM、現場と3階層の間で乖離**しているように思われる。

- ・ STF2への長期スケジュールについて、執行部の横谷氏、早野氏、さらには現場の加古氏も同じ報告をしているおり、表面上はあたかも同じ意識で極めて順調に計画を推進しているように見える。しかしながら、少なくともこのReviewの前に**各種の報告内容については、STF内部で互いにより活発に議論すべきであった**のではないか。その結果を生かした報告でなければ、委員に対するReviewの意味はほとんどないと思われるし、かえって誤ったReview結果になる。時間は十分あったはずであり、内部で議論ができない、あるいはしようとしらないのは、組織として不安を感じるものである。

- ・ **Tesla型、LL型の両者を並行して開発するとあるが、両者の性能、コスト、メリット・デメリットを同じ基準で比較できるように努力をすべきであろう。例えばカプラー、チューナー、空洞の接合法等は、加速勾配とはある程度独立に検討されるべきである。また両者の開発研究により得られた成果は共有できるようにすべきである。**

各論3. STF開発計画の概要（早野）

（報告内容）

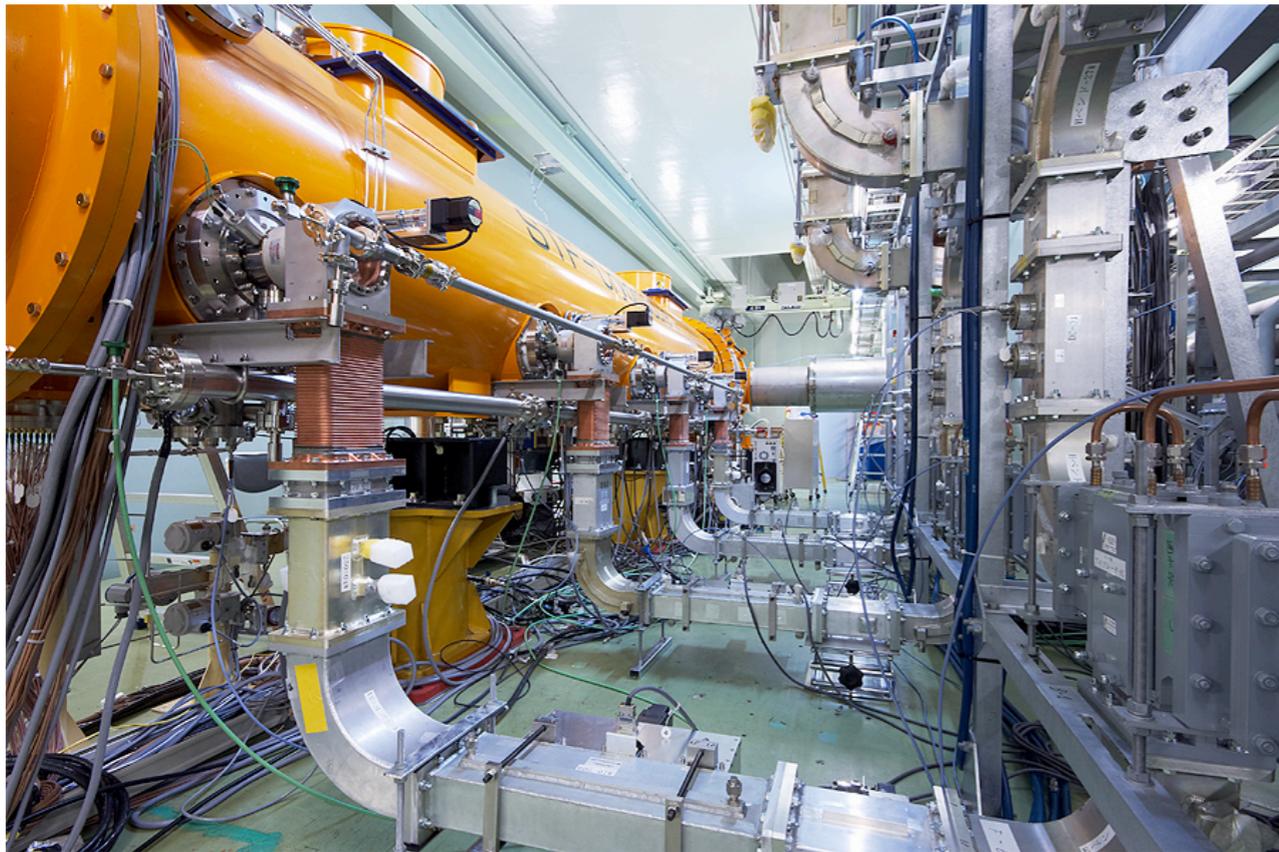
- ・ STF1は2008年に終了し、ILCクライオモジュール技術についてひとわたりの経験を積むことができた。表面処理設備、縦測定設備などインフラの整備も進んだ。この間に遭遇したさまざまな問題について、研究を継続し、改良を進めている。
- ・ S1-GlobalはSTFがホストし、INFN、DESY、FNAL等との国際協力により、平均31.5 MV/mのクライオモジュール性能実証を目指す。
- ・ STF2ではRF-GUN、12 mクライオモジュール3台（26空洞）、10MWマルチビームクライストロン等の総合試験を予定している。表面処理、縦測定を3チーム編成で行い、2年で28空洞を仕上げる。これに加えて、量子ビーム実験も組み込まれている。高圧ガス対策も行う必要がある。一連のプロジェクトのスケジュールについて説明がなされた。
- ・ 高加速勾配に向けた研究（S0 effort）は、フィールドエミッションおよびクエンチの理解と克服が重要である。フィールドエミッションに関しては、表面分析による現象の理解と表面処理工程の改善を、クエンチに関しては、溶接法の改善、内面検査装置の開発、内面欠陥修正技術の開発などを進めている。

STF Phase1.0 (TESLA型空洞 4台内包クライオモジュール試験)

試験期間: May 2008 – Dec. 2008

ILC cryomodule 技術の一渡りの経験

モジュールアッセンブリー,
2k 冷却技術,
低熱負荷技術,
パルスRFでの空洞性能、空洞制御,
LLRF制御技術,
RFパワー分配試験, Qext 制御。



外部可変位相器と外部可変反射器を使用しての見かけの
空洞Q値制御試験。
QL は +/- 15%の制御が可能。



空洞1台ずつのパワー試験



ツリー型パワー分配回路を使用しての
4台空洞運転

各論3. STF開発計画の概要 (2)

(評価と勧告)

・現状ではILCスペックに到達していないものの、空洞性能改善および各要素技術開発において、目標に向かって改良の努力が続けられている。今後もステップバイステップの進展を着実に進めていくことが望まれる。

・STF2の最初のクライオモジュールの建設に関しては、これまでの技術進展の度合いやマンパワーから見て十分現実的であろう。BL空洞の報告（加古氏）でも、2012年までにSTF2の1クライオモジュール製作は可能、とのコメントがあった。しかし、**後続の2クライオモジュールのスケジュールについては以下の問題**が感じられる：

(1) 空洞性能、要素技術のいずれにおいてもまだILCスペックに達していないので、第2、第3クライオモジュールについては、**第1モジュールの試験結果をフィードバック**しながら進めることが重要である。

(2) KEK内にもつ工業化のための**パイロットプラントで培った製造技術をSTF2で試験する**ことは重要である。このことと整合性をもつ全体計画とするべきである。

(3) 3クライオモジュールを揃えなければ確認できない技術的チェックポイントもあるが、上記(1)、(2)の条件をそこなってでも**早期に実施すべき**とまでは言えない。

各論3. STF開発計画の概要 (3)

(評価と勧告2)

- ・ STF2は、SC-RF機器の製作技術の開発を目指したSTF1とは異なり、(1) SC-RFのシステム開発を目指すこと、(2) 今後量子ビームおよびSTF2の計画推進当たっては多くの製作メーカーとの調整が必要と思われる事、(3) SC-RFに関する人材養成と技術開発を目指しパイロットプラントを立ち上げる事、等を鑑み、現在の兼務体制から、専任の責任者の下に分担を明確された専任スタッフよりなる推進体制に移行することが望まれる。

- ・ いろいろな流儀があるとしても、科学技術的観点からそれらを整理し、SCグループを一元的に運営できる体制も同時に構築することが重要と思われる。

各論4. Tesla改良型空洞システム開発の現状と展望（加古）

（報告内容）

- ・ STF1用にBL空洞 4 台を製作し、試験を行った。空洞性能向上の研究、要素技術および空洞パッケージ全体の技術開発、総合運転の経験蓄積、インフラ整備等において成果があった。
- ・ 空洞性能が 1 台を除き20MV/m程度で、特定のセルのクエンチで制限されていた。フィールドエミッションによるX線発生やQ値劣化が著しい。その他、ピエゾチューナーのヒステリシス、HOMカプラーの発熱、入力窓のリークなどの問題点が見いだされた。
- ・ これらの問題点について、S1-GlobalやSTF2に向けて改善すべく研究を続けている。具体的には、製作・組み立て環境の改善、表面処理工程における洗浄効果の比較試験、内面検査システムの開発、内面研磨システムの開発等である。
- ・ 高圧ガス対策、空洞パッケージ製造コストについても報告があった。

各論4. Tesla改良型空洞システム開発の現状と展望 (2)

(評価と勧告)

・現状ではILCスペックに到達していないものの、空洞性能改善および各要素技術開発において、目標に向かって改良の努力が続けられている。今後もステップバイステップの進展を着実に進めていくことが望まれる。2012年までにSTF2の1クライオモジュール製作は可能、と加古氏からコメントされたが、これはこれまでの技術進展の度合いやマンパワーから見て十分現実的であろう。しかし、その後の第2、第3クライオモジュールについては、第1モジュールの試験結果をフィードバックしながら進めることが重要であり、STF2全体計画はこのことと整合性を持つものとすべきである。

・ **BL空洞グループとLL空洞グループ間で、もっと情報交換や研究協力を増やす**ことで生まれるポジティブなアウトプットも大きいはず。特に、コスト低減および高電界への追求の面において、ILC開発における日本の地位を高めていくためには是非必要である。

・ TESLAオリジナルでなく安定なパルス動作を目指した（と理解する）改良型空洞採用に至る検討結果と、得られた結果の評価を明確にすべきである。

・ 入力カプラーについては、斉藤グループタイプとさらなる情報交換し、大量生産向けの最適設計を追及すべきである。

各論4. Tesla改良型空洞システム開発の現状と展望 (3)

(評価と勧告2)

- ・空洞性能の評価を詳細に行っていることは評価に値する。しかしながら**ACCEL社**が何らかの改良点を発見した可能性があることを考えると、**製造メーカーと密接に協力**して、例えばEBWの詳細にいたる検討を共同で行っていくことが必要ではないか。また**斉藤グループとの情報交換**も真摯に行うべきと考える（これは両グループの問題および日本LCグループとしての問題であるが）。
- ・高圧ガス対策については山本氏の基本方針のもとに、まずは自らの手で行っていくという基本姿勢が重要と考える。
- ・クライオモジュールへの熱侵入の多くを占めるRFケーブル、入力カプラーについては改良が必要と思われる。大内グループ、冷凍機グループとの**オープンな技術議論**を行うことが必要ではないか。
- ・**コスト**については、現状は目標および欧米のスタンダードとの乖離が甚だしい。この状況を打破することは急務で、そのための方策検討の開始が強く望まれる。**発想の転換は必須**ではないだろうか。現状は全体としてメーカー主導の印象は否めない。開発初期段階にあっては、詳細な工程ブレークダウンと個々の技術の共同検討が必須と考える。その意味でKEKで構築する**パイロットプラントを有効に活用**するような方策が必要ではないか。とにかく15,000台の量産技術を追求している、という基本姿勢を明確にすることだ。

各論5. STFクライオモジュール開発の現状（大内）

（報告内容）

- ・ 6 m-STFクライオモジュール開発:

STF Phase I用のクライオモジュールはDESY TTF-IIIの設計を基本として製作された。Tesla改4台用のA型と、LL4台用のB型の2種を製作した。

試験は、それぞれ空洞1台を入れたA型、B型の順で、別々に2007年から2008年におこなった。さらにA型については4台のTesla改を入れた最終型で2008年に試験を行った。2009年には、B型を用いてクライオスタットのみの熱特性試験をおこなった。

注目すべき試験結果は2K部への定常熱負荷で、想定値よりもはるかに多く、RF cableやInput couplerが寄与していることが判明した。

- ・ ILCクライオモジュール開発:

コスト削減のため、5Kシールドを削減できるかどうかの熱的な解析をしている。さらに、B型モジュールの中にDummy helium vesselを入れて、2009年に冷却試験をして解析結果を確認する予定である。

STF Phase IIのクライオモジュールにおいては、US・ヨーロッパのモジュールと境界条件を合わせ、プラグコンパティブル化を実現させる。

- ・ S1-Globalクライオモジュール開発:

FNALから2台、DESYから2台、KEKから4台の空洞をSTFに持ち寄り、型が異なる空洞でも一緒にくみ上げて運転が可能であるというプラグコンパティブルを実証しようという計画が、2008年4月に策定された。

国外からの4台を入れるC型モジュールはINFNが製作し、11月に到着する。その後KEKにおいてC型モジュールに空洞を組み入れて、KEK製のA型と接続し、2010年に冷却及びhigh power試験を行う。

ここでの熱負荷試験は冷却システムの仕様決定に重要なデータを提供するであろう。

- ・ 開発スケジュール:

S1-Globalが終了する2010年末までのスケジュールが示された。

各論5. STFクライオモジュール開発の現状 (2)

(評価と勧告)

- ・ **2K部への熱負荷の減少**には空洞グループが担当する機器の改善が必須であるが、これらにも共通の課題として一緒に解決する必要がある。
- ・ **5Kシールドの解析**はコスト削減の観点から重要な意義があり、結果を期待する。
- ・ **S1-Globalの時間が限られていることから**、C型モジュールの組み上げには周到な準備をしておかなければならない。
- ・ **大内氏はSuperKEKBの重要メンバー**でもあるので、どちらかに力点を置いて仕事を進めるべきであろう。ILC KEKでは、**空洞、モジュール、冷凍機**と3者に分かれて製作しているが、その間で課題を常に共通に理解できるように配慮すべきである。

各論 6. SRF空洞の表面研究SRF空洞の表面研究（佐伯）

（報告内容）

- 空洞処理のレシピの各過程をミクロに研究するために、2008年の春からSRF空洞の表面研究の活動を組織的に始めた。
- STF/KEKの電解研磨（EP）処理中に、カソードに取り付けたテフロンメッシュに結晶状態の硫黄が析出していることを確認した。テフロンメッシュ上の硫黄は、アルコール超音波洗浄、洗剤超音波洗浄で除去されることを確認した。
- 単セル空洞にニオブサンプルをセットして、STF/KEK電解研磨（EP）設備で電解研磨して、ニオブサンプルをKEKとJLabにて分析し、ニオブサンプルに硫黄を検出した。ラボEPによるニオブサンプルにも、硫黄を検出した。各種洗浄後に硫黄が除去されるかは分析される予定。
- 単セル空洞用のスポンジ洗浄機を開発した。Saclayから送られてくるフィールドエミッションのある単セル空洞に対し、このスポンジ洗浄機を試すことが予定されている。
- STF/KEKの空洞グループの研究により、比較的低い電界（ $< 20 \text{ MV/m}$ ）におけるクエンチの場合、発熱箇所（注：原文は「箇所」）にピットなどの欠陥が発見されている。これらの欠陥は、必ずしも電解研磨（EP）で補修できない。局所研磨機（注：原文は「機」）の開発をおこなっており、JLabから送られてくる単セル空洞で、そのテストが予定されている。
- 比較的高い電界（ $> 20 \text{ MV/m}$ ）でのクエンチの場合ピットなどの欠陥が発見できないことが多い。

各論 6. SRF空洞の表面研究SRF空洞の表面研究 (2)

(評価と勧告)

- ・ SRF空洞の性能を制限している要因を表面物性等の科学的観点から追求する姿勢は、電界強度の限界を目指すSRF空洞の開発にとって最も基盤となる技術開発で、この開発の先に15000台におよぶ超伝導空洞の安定運転が実現されるものとして**高く評価**する。
- ・ しかし、本グループは限られた時間内に着実に実用的な成果を挙げる必要があると、**「一般的な研究」**に陥らないような注意が必要と思われる。
- ・ 電界放出現象の解明を優先といたしながらも、必ずしもその狙いがシャープに見えてこない。例えば硫黄の影響を論ずるとき、性能劣化へのメカニズムや表面処理など、**物理的ないしは化学的モデル**を持って取り組むことが必要ではないか。
- ・ 世界のこれまでの開発状況を見ると、材料性能が高いレベルで安定してきた状況では**EBWの影響が最も大きい**ように思える。今回の報告では、それは単にビード処理でスムーズな表面を実現するだけでは済まないことも明らかになりつつある。例えば溶接工程が結晶の粒界にmicroscopic magnetic field enhancementをもたらさないか、などの仮説も含めた検討が必要ではないか。その場合は、大学における専門家との協力も視野に入れるべきと考える。

各論 6. SRF空洞の表面研究SRF空洞の表面研究 (3)

(評価と勧告2)

・現状ではまだ表面研究の成果が空洞試験の結果に反映されるには至っていない。この点に関して、**グループ間の連携**が十分であるとは言いがたい。いずれにせよ、実際に行われている製造工程や表面処理工程との関係を常にチェックしながら活動することが望まれる。

・フィールドエミッションとクエンチの要因についてはできる限り速やかに解明し、その対策および処方箋の確立が必須と思われる。そのための人員と予算の措置、および高電界が期待されるLL空洞の開発チームとの密接な連携の下でのSCF空洞開発の一元的推進体制の構築が必須であろう。

・これら原因究明に当たって、国際協力の下にSRF空洞に関する**各種測定データをデータベース化**し原因追及に有効に利用する仕組みを作ることも重要と思われる。ただし、知的財産の保護と言う観点からは今後検討する必要があると思われるが。

・SRF空洞のように高い電界が金属等表面に印加されている場合、その状態での金属表面がどのようなになっているか明確にはなっていない。現状、**電界を印加していない状態での表面を観察測定**し、その状態が実運転時でも同じとして、フィールドエミッションやクエンチ等との議論がされている。しかし、この前提条件は正しいのか、一度精確に科学的に検証することが必要であり、結果次第では材質や製作方法の見直しが必要になるのではと思われる。

各論7. LL空洞開発の現状と見通し（斎藤）

（報告内容）

- ・ 単セル空洞の高勾配化、高圧ガス対策、コスト削減の具体的方策が詳細に報告された。
- ・ 単セル空洞の電場勾配は原理的な値近くまで来ているが、**その結果が9セル空洞に反映していない**こと（パズル）について、及びその解決策が報告された。空洞製造のための**ベンチャー企業の可能性**について触れられた。

各論7. LL空洞開発の現状と見通し (2)

(評価と勧告)

・横谷氏の報告にTesla型、LL型両者を並行して開発するとあるが、両者の性能、コスト、メリット・デメリットを**同じ基準で比較**できるよう努力をすべきであろう。また両者の開発研究により得られた**成果は共有**できるようにすべきである。山本氏がDESYのDatabase作成について触れた。LL型開発の成果もそのDatabaseに反映されるべきである。

・日本グループとして、本グループの特徴を有効に生かし、性能リミットの本質の追求やコスト削減の究極の方法など、全体開発計画のなかで位置づけていくことが必要と考える。**当面は高電界空洞開発に専念する、という方針を支持する。**そのために必要な資源を今後とも確保することは極めて重要である。

・齊藤グループの空洞開発に臨む基本姿勢は、**空洞製造工程の詳細や性能リミットの物理的背景を全て理解しようとするものであり、本来あるべき姿である**と考える。これまでに多くの成果を世界に提供してきた貢献は大きい。

・コスト削減につながる**Large Grain材料を使った空洞開発は今後とも重要**であり、継続していくことが望まれる。

各論 8. EP設備の現状、EBWについての取組み状況（上野）

（報告内容）

・電解研磨工程（EP）の新設に関し必要性、基本コンセプト、成果について報告があった。電子ビーム溶接機（EBW）および技術の導入に関し、導入スケジュール、技術動向調査、人材の確保についての報告があった。

（評価と勧告）

・EP設備： これまでは野村鍍金のみで処理してきたが、今後は最適なEP処理法の研究開発が大いに期待される。EP処理の開発が可能となりその経験が生かされるような、**人員の配置**を望む。

・EBW設備： 空洞性能の向上させるためには、**空洞製作までKEKが関与すべき**であろうと考えてきた。その意味で、重要な過程であるEBWの研究開発をKEKでおこなえるようになることは歓迎する。それとともに**最適なEBWを目指すための解析方法**についても準備をしておくべきであろう。今からでもテストピースのEBWを各社に依頼して解析を始めるべきであり、その結果を元に導入するEBW装置の仕様を決めるべきである。

・技術開発、人材育成： 両設備とも、単に空洞製造の一部の工程を担うだけでなく、**空洞製作技術開発の拠点**となるべきである。製造技術者の養成はもちろん、開発のための研究者・技術者を集結させ研究センターの機能を持たせるべきであろう。

・空洞内製： **空洞の一貫内製が可能となるようにすべき**であろうが、その場合マンパワーの割り当てが十分にできる体制が望まれる。