

European XFEL の状況と 設立経緯

高エネルギー加速器研究機構

徳宿 克夫

13/04/2018

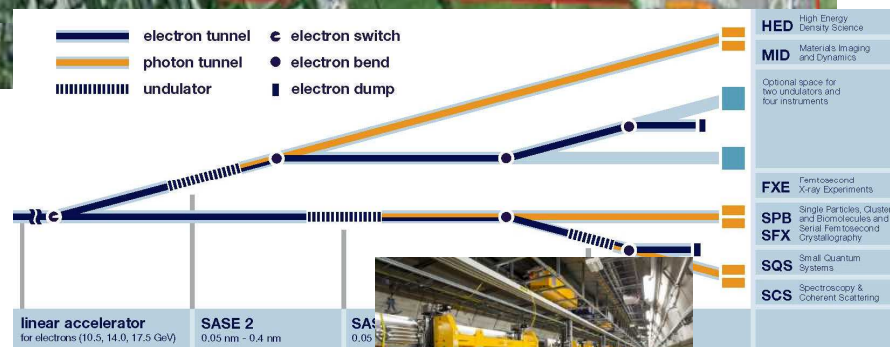


European XFEL: 組織、施設

- ドイツ・ハンブルク近郊に12カ国の国際協力により建設されたX線自由電子レーザー施設。ドイツ国内法での非営利有限責任会社の形態で建設・運用される。(Conventionによる規定)
- 17.5GeVの電子ビームをつくり、自由電子レーザーの原理により、最短0.05ナノメートルの可干渉性高輝度X線を発生させて、原子・分子・細胞などの微細構造の研究などに資する。
- 建設費 12億2,000万ユーロ(2005年物価水準)、運転経費 1億1,700万ユーロ(2018年)
- 建設負担割合(2018年2月現在 ドイツ:58%、ロシア:27%、その他:各国あたり1~3%)
- Councilが意思決定機関、
 - 加盟国1カ国あたり最大2名まで
 - 拠出に比例した票数での投票権、最小貢献は1%
 - 案件毎に、全会一致、qualified majority (77%以上、かつ株主の半数以上の反対無し)、simple majority



トンネル全長 3.4km (うち超伝導線形加速器は1.7km)



今、E-XFEL,FAIRを議論する理由： ICFA声明

<http://icfa.fnal.gov/wp-content/uploads/ICFA-Statement-Nov2017.pdf>

ICFA STATEMENT

67

ICFA STATEMENT ON THE ILC OPERATING AT 250 GEV AS A HIGGS BOSON FACTORY

The discovery of a Higgs boson in 2012 at the Large Hadron Collider (LHC) at CERN is one of the most significant achievements in physics.

fundamental

The International

science

ICFAは、...日本のイニシアチブにより、重心系エネルギー250GeVの「ヒッグス・ファクトリー」のILCを、国際プロジェクトとして日本が時宜を得て実現することを強く奨励します。

ICFA welcomes the efforts by the Linear Collider Collaboration on cost reductions for the ILC, which indicate that up to **40% cost reduction** relative to the 2013 Technical Design Report (500 GeV ILC) is possible for a **250 GeV collider**.

ICFA emphasises the **extendibility of the ILC to higher energies** and notes that there is large discovery potential with important additional measurements accessible at energies beyond 250 GeV.

ICFA thus supports the conclusions of the Linear Collider Board (LCB) in their report presented at this meeting and **very strongly encourages Japan to realize the ILC in a timely fashion** as a Higgs boson factory with a center-of-mass energy of 250 GeV as an international project¹, led by Japanese initiative.

¹ In the LCB report the European XFEL and FAIR are mentioned as recent examples for international projects.

Ottawa, November 2017

1 ILCの分野に近い国際プロジェクトの例として、ドイツのEuro XFELとFAIRが上げられている

今、E-XFEL,FAIRを議論する理由： LCB声明

<http://icfa.fnal.gov/wp-content/uploads/LCB-Short-Conclusion-Nov2017.pdf>

KEK日本語暫定訳：

https://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/2017/11/10/20171110_LCB_Japanese.pdf

In recent examples of similar international projects¹, the host country made the majority contribution. A natural expectation would be that the cost for the civil construction and other infrastructure is the responsibility of the host country, while the accelerator construction should be shared appropriately. A clear expression of interest to host the machine under these principles would enable Japan to start negotiations with international partners. It would also allow members of the international community to initiate meaningful discussions with their own governments on possible contributions.

最近の同様の国際プロジェクトの例¹では、ホスト国が主要な費用負担を行なっています。自ずと、土木建設やその他インフラの建設コストはホスト国が責任を持ち、加速器建設については適切な費用分担がなされることが期待されます。これらの原則に基づいて、加速器をホストすることが明確に意思表示されれば、日本と国際的なパートナーとの交渉が開始されることになるでしょう。また、他国の関係者も、可能な貢献について、自国政府と有意義な議論を開始することも可能になります。

1 ILCの分野に近い国際プロジェクトの例として、ドイツのEuro XFELとFAIRが上げられている

ILCに関する有識者会議(第8回)議事録: (2017年12月5日)

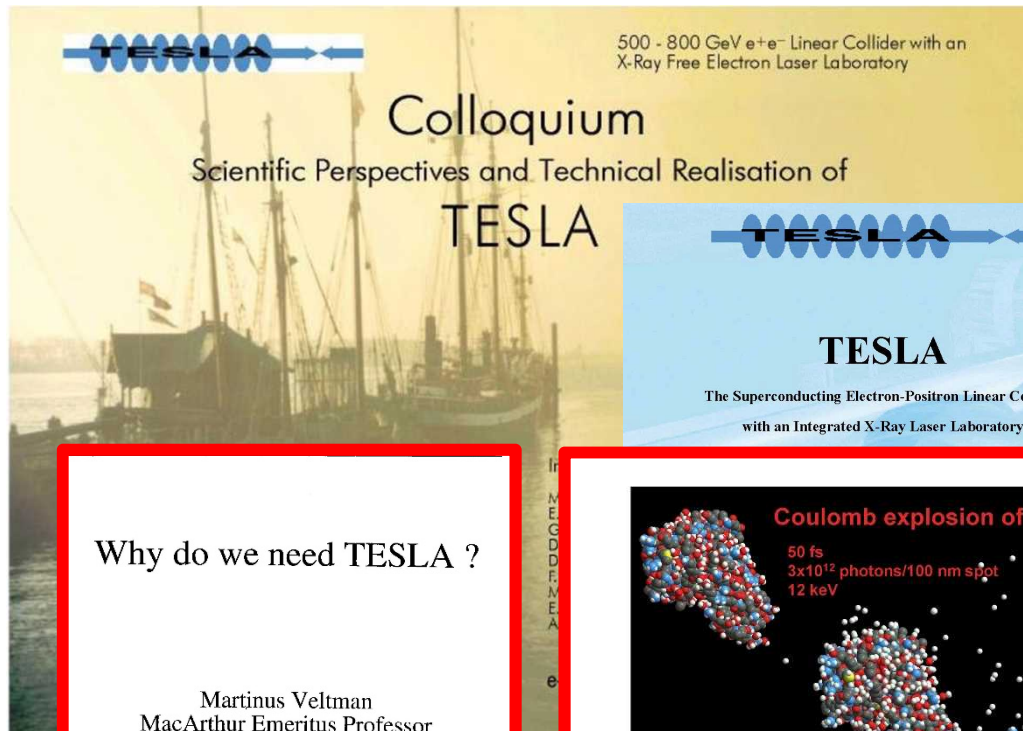
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shinkou/038/gijiroku/1400612.htm

- 【中田教授】 LCBとしては、現実的に考えた場合、今の段階では、ドイツが前にXFELやFAIRのときに行ったような原則に基づいて、加速器をホストするということをまず日本がそういうことをやってみたいんだということを提示されることが大事なのではないかと。それが提示されれば、ヨーロッパ、アメリカ、ほかのアジアの国でも、では、それで一緒にやりましょうという、そういう交渉が始まると思いますし、(略)。それがLCBの考え方です。
- 【徳宿委員】 同じところにはなるのですが、例としてXFELとFAIRを挙げたということですが、今、お金のことばかり議論には出ていましたが、もう一つ、この2つに関しては、非常に特殊な組織で、ドイツで会社組織でやっているものということですよ。それは、ILCのガバナンスの方では、それは採らないと言われていた形態だと思うのですが、あえてこの2つを挙げたというのは、会社的な組織にしるということを言っているのでしょうか。
- 【中田教授】 いえ、それは言っていません。どういう組織でやるかやらないかというのは、LCBでは議論していません。
- 【徳宿委員】 では、組織の形態として、この2つを挙げたわけではないということですか。
- 【中田教授】 そうではないです。

後者で、ガバナンスもまねろと言っているわけではないと分かる。

Euro XFEL, FAIRの設立の経緯を参加国の役割分担も含めて、きちんとレビューするのが重要

TESLA proposal (2001年3月23日)



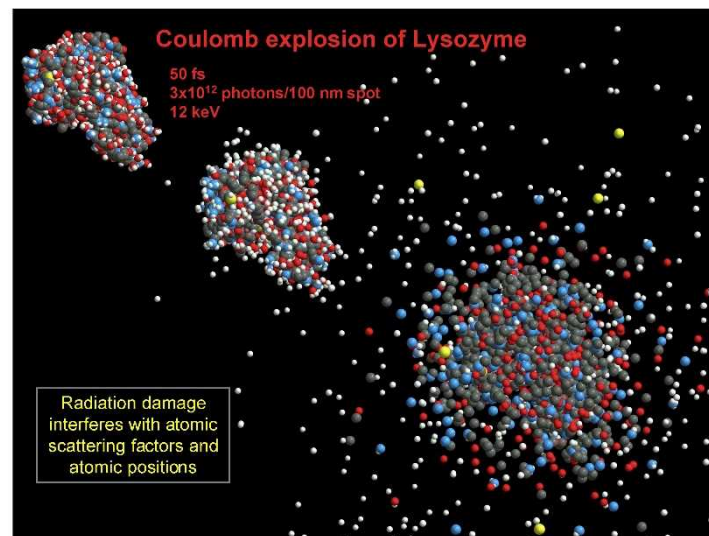
6分冊のTESLA TDRのお披露目
http://www.desy.de/tesla_colloquium/
500GeV リニアコライダー
3,136 M Euro (2000年 price)
それにXFELを加えると
531 M Euro (2000年 price)
LCの測定器
210 M Euro

Why do we need TESLA ?

Martinus Veltman
MacArthur Emeritus Professor
of Physics
University of Michigan

TESLA 23 March 2001

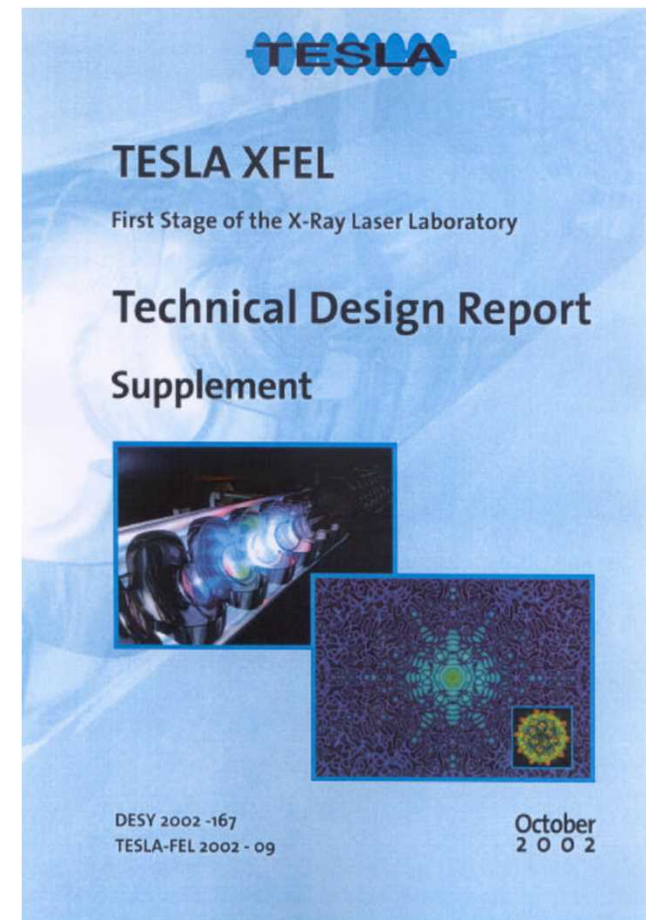
素粒子のトーク
:ノーベル賞受賞者: フェルトマン氏



XFEL(構造生物学)のトーク:
ハイデウー氏

TESLA Proposal の学術審議会 (*Wissenschaftsrat*) での審議 (2001年-)

- X-FELを分離した形でのオプションとコストの見積もりを指示。
- 2002年10月 DESYはXFELをリニアコライダーから分離した形のTDR提出



ドイツ連邦教育研究省 (BMBWF) の表明 (2003年2月)

エーデルガード・ブールマン大臣による大規模研究施設に推進に関する声明。16億ユーロの投資を表明。

- DESYは新しい自由電子レーザーを得る。この地に作るという理由で、ドイツは673MEuroの建設費用の内、半分を支出する用意がある。ヨーロッパでの協力の議論を早急に進め、約2年の内に建設するかどうかを決定する。建設には6年かかる予定。
- TESLAリニアコライダーに関してはドイツのサイトを決めることはしない。世界規模での協力の議論がされているところなのでそれを待つ。現時点でドイツが単独でサイトを議論する意味はない。DESYがTESLAへ向けての研究を進めることは認める。
- GSIは、ヨーロッパのパートナーと共に、徐々に重イオン施設を拡充していき、ヨーロッパの先進物理センターとなる。約675Mユーロのコストの内少なくとも1/4は外国から拠出されるべきである。
- その他、Research Center Rossendorf (強磁場)、research airplane HALO (大気圏探査)などの基礎研究への投資を表明

(2003年当時のドイツ研究者の英訳メールを徳宿が抄訳 ([hecforum:00914] Re:Tesla))

表明後のドイツ政府のアクションと経緯

関連国の担当大臣へ向けてのドイツ連邦教育研究大臣からの書簡

- XFEL(及び FAIR)に関する準備協議のための組織への参加要請。
プロジェクトへの参加の要請でなく協議の要請であることに注意。

準備のためのMOU締結(2005年から)

- 2006年時点で、仏、独、ギリシア、伊、西、スウェーデン、スイス、英、ポーランド、ハンガリー、デンマーク、露、中国 が調印
- International Steering Committee (ISC) の設置
 - 2004年時点で、デンマーク、仏、独、ハンガリー、伊、露、西、スウェーデン、スイス、英が参加、EUと米がオブザーバ ChairはH. Schunck (ドイツ)
 - 正式なMOU締結より先にスタート
 - ガバナンスを議論するWorking Groupも設立(次ページ)
- DESYにEuropean XFEL project teamを組織
 - “A European XFEL project team will be established by the XFEL Steering Committee and hosted by DESY”
 - Leader: Massimo Altarelli
 - 場所も決めた上でのTDRと、綿密なCostBookを準備(次次ページ)

**Administration and Financial
Issues Working Group**
Chair: H.-F. Wagner (D)

**Scientific and Technical
Issues Working group**
Chair: F. Sette (ESRF)



International Steering Committee
Chair: H. Schunck (D)



European XFEL Project Team

The European Project Team

The main objective of the team is to deliver, by July 15, 2006, the documents necessary for the decision of the participating countries to create the

European XFEL Facility GmbH:

**Technical Design Report,
Administrative and Financial Report,
Text of Intergovernmental Convention**

....

承認に向けて

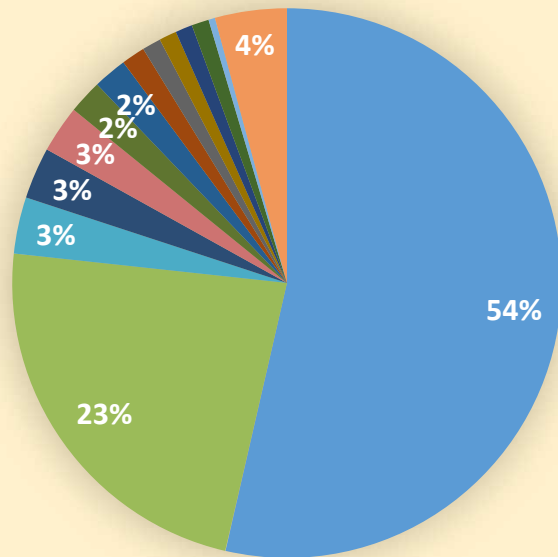
- 2004年： ハンブルグ市とシュレスヴィツヒホルシュタイン州がXFEL施設の建設・運用にあたっての法的取り決めを締結
- 2006年7月 TDR承認
- 2006年10月 State Office for Mining, Energy and Geology (LBEG) がXFELの建設認可
- 2007年7月にドイツ連邦教育研究省が正式にEuropean XFELの設立を表明。
 - 12カ国が、「スタートアップバージョン」の建設に合意
 - 4年間のPre-XFELプロジェクトがスタート。
 - The main purpose of the project is to provide all technical, legal, and financial documents necessary for the foundation of a company to build and operate the European XFEL facility.
->2009年のConvention締結と会社設置につながる。
- 2008年9月： Conventionの草稿完成
- 2008年12月： 土木工事の先行入札（建設開始は2009年1月）
- 2009年10月： European X-Ray Free-Electron Laser Facility GmbHの正式設立（ハンブルグ市への登記完了）
- 2009年11月： 10カ国によるConvention調印
 - デンマーク、独、ギリシャ、ハンガリー、伊、ポーランド、露、スロバキア、スウェーデン、スイス（後に 仏（2010年）、英（2018年）参加）

各国の貢献

2006年までの欧州各国からの貢献表明は各国1-3%に留まっていた。

2007年にロシアが250M€の貢献をすることを表明(同年11月のプーチン・メルケル会談でも言及)。これにより、ドイツがほぼ半分貢献という形の、国際プロジェクトとなることができた。

E-XFEL (Total 1,082MEuro) /2009年11月時点



- | | | |
|---------|---------|----------|
| ■ ドイツ | ■ ロシア | ■ フランス |
| ■ イタリア | ■ 英国 | ■ ポーランド |
| ■ スペイン | ■ スイス | ■ スウェーデン |
| ■ スロバキア | ■ デンマーク | ■ ハンガリー |
| ■ ギリシャ | ■ その他 | |

2009年11月のConvention調印式



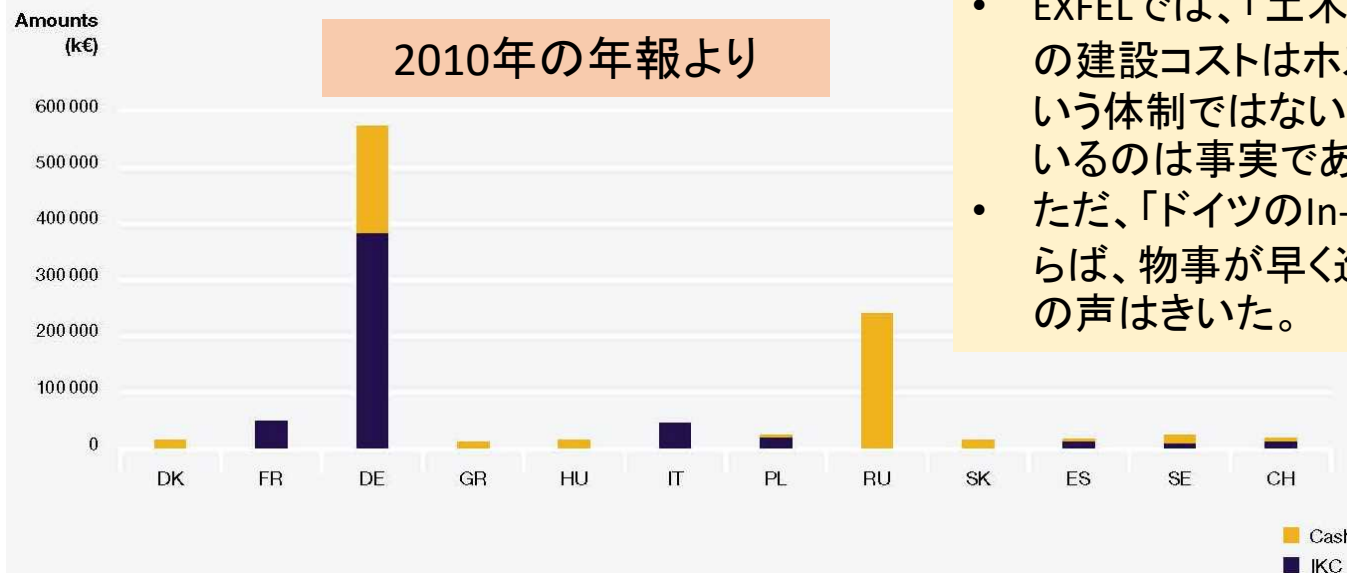
- 左図はConventionに書かれている数字から徳宿が作成。
- 2018年1月現在のshareはドイツ58%、ロシア27%、その他1-3%である。
- イタリア、スペインは正式加盟手続きは2018年時点で済んでおらず、CouncilもObserver state であるが、貢献は進めている。

各国の貢献

- 用地確保を含めたサイト準備費用は(ハンブルグ市、シュレシュビツヒ・ホルシュタイン州)はプロジェクトの経費にカウントされていない。
- In-kind 貢献と現金貢献があり、In-kindに関しては特別の委員会で審議。何がIn-kind 貢献かはWebで公開。(In-kind貢献が全体の約50%)

https://www.xfel.eu/facility/construction/in_kind_contributions/index_eng.html

- 2010年のアニュアル・レポートでは両貢献の値が書いてあるが、その後は、In-kind 貢献のみ表示。下図は2010のものを引用
 - フランス・イタリアは100% In-kind貢献
 - ロシアはこの時点ではIn-kind貢献は0であったが、現在では、13件,43M€がIn-kind貢献
 - In-kind貢献のほとんどは、加速器、フォトンビーム、実験装置関連。 EXFEL施設の土木・建築は全くない。



- EXFELでは、「土木建設やその他インフラの建設コストはホスト国が責任を持つ」という体制ではない。(ドイツが多くを払っているのは事実であるが)
- ただ、「ドイツのIn-Kind貢献になっていたら、物事が早く進んだのに」という現場の声はきいた。

計画(予算)の推移

- 2006年のTDRでは、準備とコミッショニングを含めて、20GeV電子加速器と5本のレーザーラインで、**1,082M€ (risk factor 78M)**と見積もる。(2005年物価水準、以下も同様)
- 2009年のConventionでは、上記1082M€を上限としたプロジェクトとして規定。各国がいくらコミットするかとのリストが示されている。(各国shareは14ページを参照)
ただし、「スタートアップバージョン」を進めることをさだめる。(17.5GeV, 3本のライン)。このバージョンの予想コストは**938M€ (risk factor 78M)**であった。
- 2010年-2012年: 様々な点でコストの増加が明らかに、
14GeV加速器にするオプションも検討
- 2012年: Councilで17.5GeVのバージョン維持を選択。トータル費用を**1,150M€**にあげる。少なくともドイツとロシアは増分を担当
- 2015年: 計画が1年遅れることが明らかになり、それに伴う費用増加をCouncilで承認、トータル費用は**1,220M€**になった。この時点でドイツのshareは58%、ロシアは27%他の国は1-3%
E-XFELのコストは、建設期全体のすべてのコストを含むため、1年遅れた場合には総額の建設費は同じでも人件費等の分は増えることになる。
- 2015年12月: 最初の電子ビーム加速
- 2017年6月: 最初のレーザービーム
- 2017年9月: ユーザー実験開始

まとめ

- X-FEL (とFAIR)の設立にあたっては、ドイツ政府が、(場所と大体の拠出分担を示して)まず建設を表明。技術・ガバナンス体制を議論する国際組織の設立し、メンバー派遣を関係国に正式依頼して進めた。

ガバナンスも含めていろいろな点を、お金のコミットメントの交渉と並行して、国際的に協議した点は注目。
- In-kind貢献は全体の約50%。ほとんどは、加速器・光子ビーム・実験装置に関わる所。ホスト国を含めて、土木・施設へのIn-kind貢献はない。

LCBの文章は、XFELやFAIRが土木・建物を100%ホストが出していると言っているのではない(し、言っているとしたらそれは事実とは異なる)。ドイツがかなりの部分を出しているのは確かだが、国際貢献も入っている。それが、手続きを煩雑にしているところがあり、聞き取りでは、むしろホストのIn-kindにした方が楽であったというコメントを得ている
- 工事着工後、コスト上昇と1年の遅れはあったが、2015年に建設完了し最初の電子ビームが出た。

コスト上昇等への対応は、Descopingと増資の両方を考えつつ、Councilで議論。増資の方向で進んだ。Councilでのこのような決定は全部全会一致でなされており、協調的に進んでいる。
- この計画は、XFEL施設という明確な目標設定があり、2006年に綿密なTDRとCostBook作ることができた。

ILCはもっと大規模であるがこの点では同様であり、TDRの基に各国の分担を明らかにして進められる計画であると考えられる。特にこのXFELの前例により加速器設計と物理の議論は既によく理解できている。ガバナンスとコストシェアは、政府の主導に基づき国際的に決めていったXFELのやり方は参考になる。(これはXFELのガバナンスとコストシェアに倣えというのではなく、決め方を参考にすべきであるということ)