

# ILC加速器と計画の概要

東北大学 大学院理学研究科 物理学専攻  
高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設  
佐貫智行

ILC大学連携タスクフォースセミナー、京都大学、2016年6月9日



1. ILC加速器

2. 計画の概要

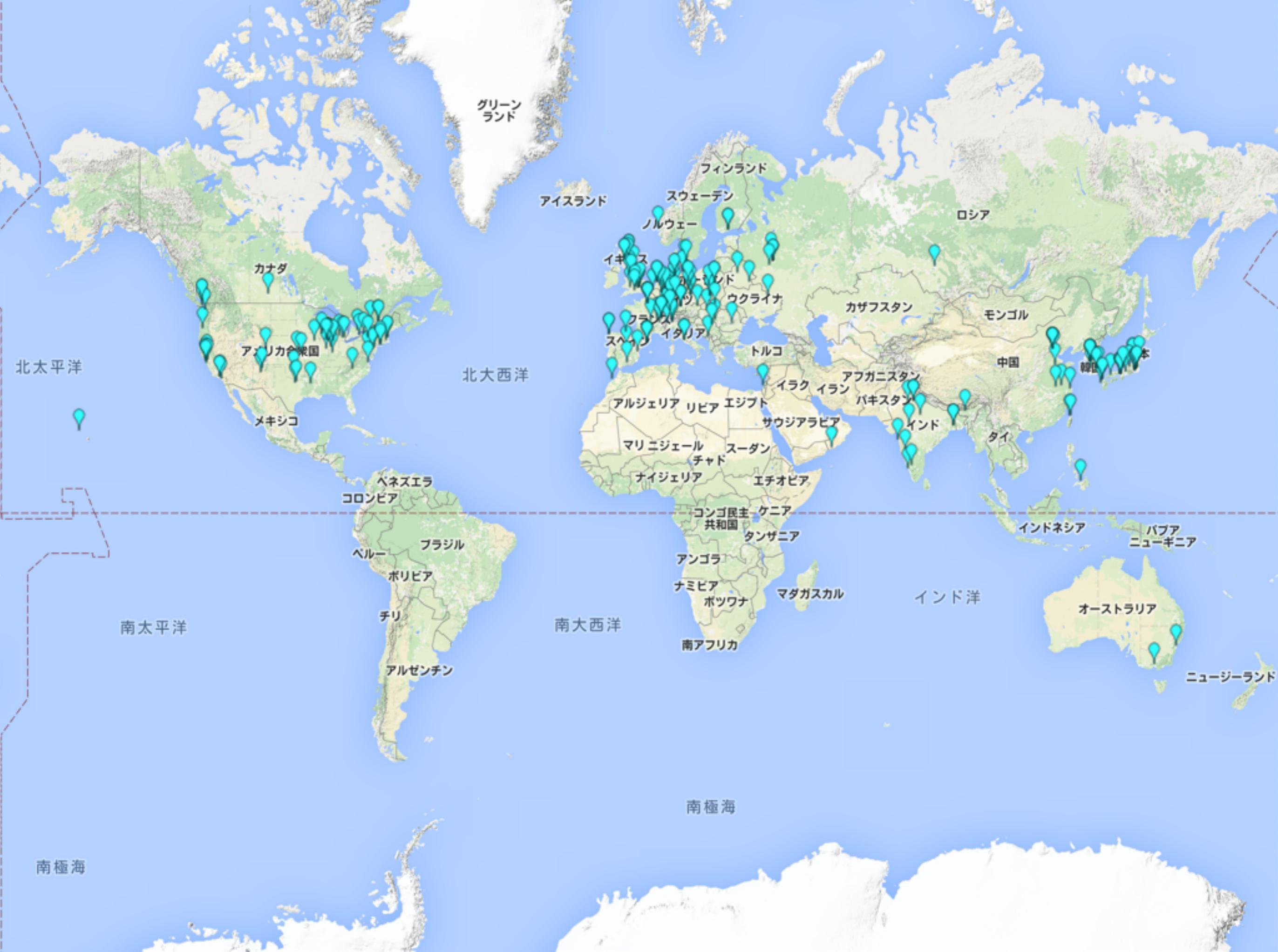
3. 地元大学の活動（時間が充分にあれば）

4. 計画から実現へ（時間があれば）

# ILC加速器

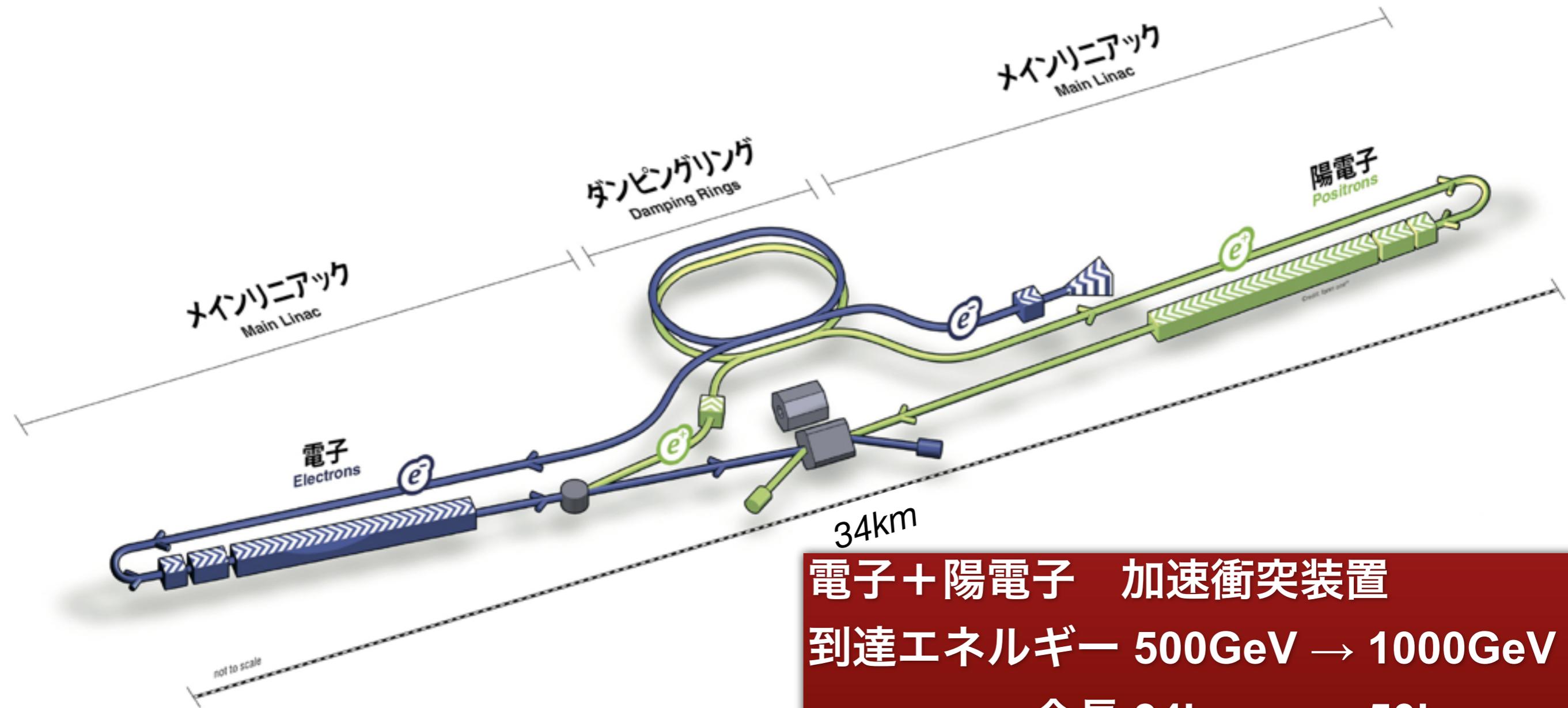
NEXT DEPARTURES  
-----  
0514 EXTRA DIMENSIONS  
3913 DARK MATTER  
2319 HIGGS  
1421 DARK ENERGY  
0899 SUPERSYMMETRY  
142 UNIFICATION  
000 UNKNOWN  
168 QUANTUM UNIVERSE  
ALL SCIENCE

# International Linear Collider (ILC)



# ILC

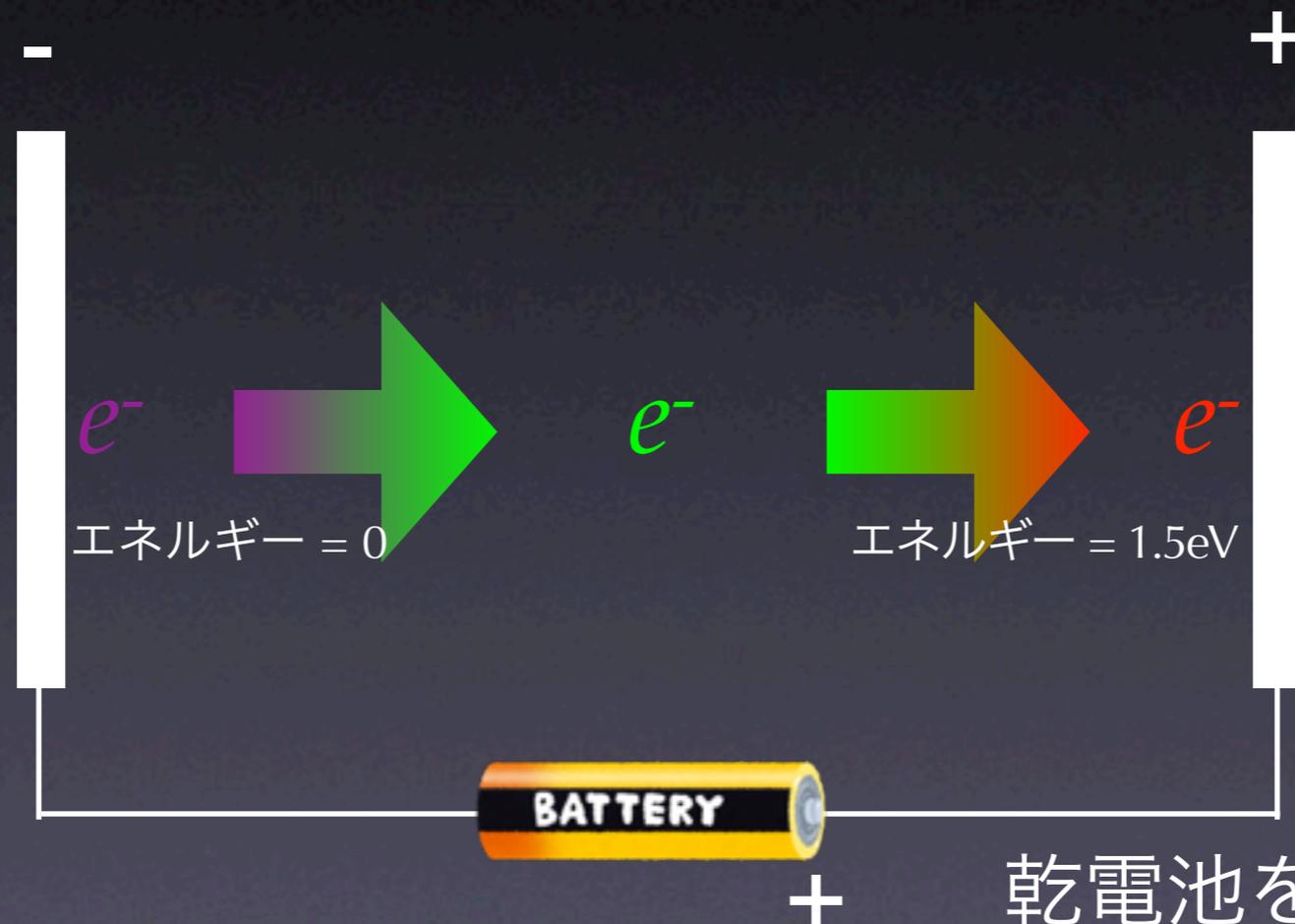
$$\Delta P_{SR} = -(E/m)^4 R^{-1}$$



電子 + 陽電子 加速衝突装置  
到達エネルギー 500GeV → 1000GeV  
全長 34km → 50km  
北上山地 (岩手県~宮城県)

# 加速器

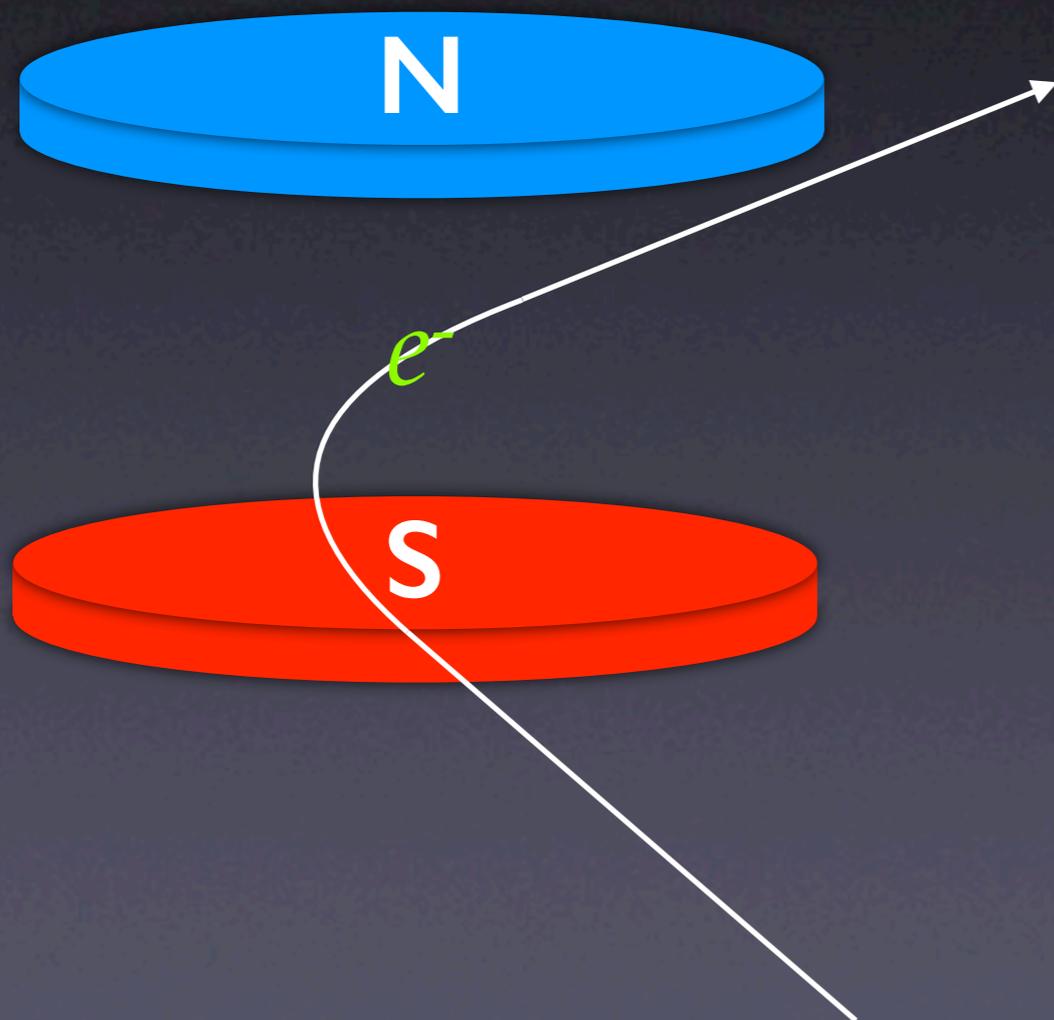
電気を帯びた小さな粒（荷電粒子）を  
電気の力で加速する装置



乾電池を用いる場合、  
電子は1.5eV(電子ボルト)の  
エネルギーを得る

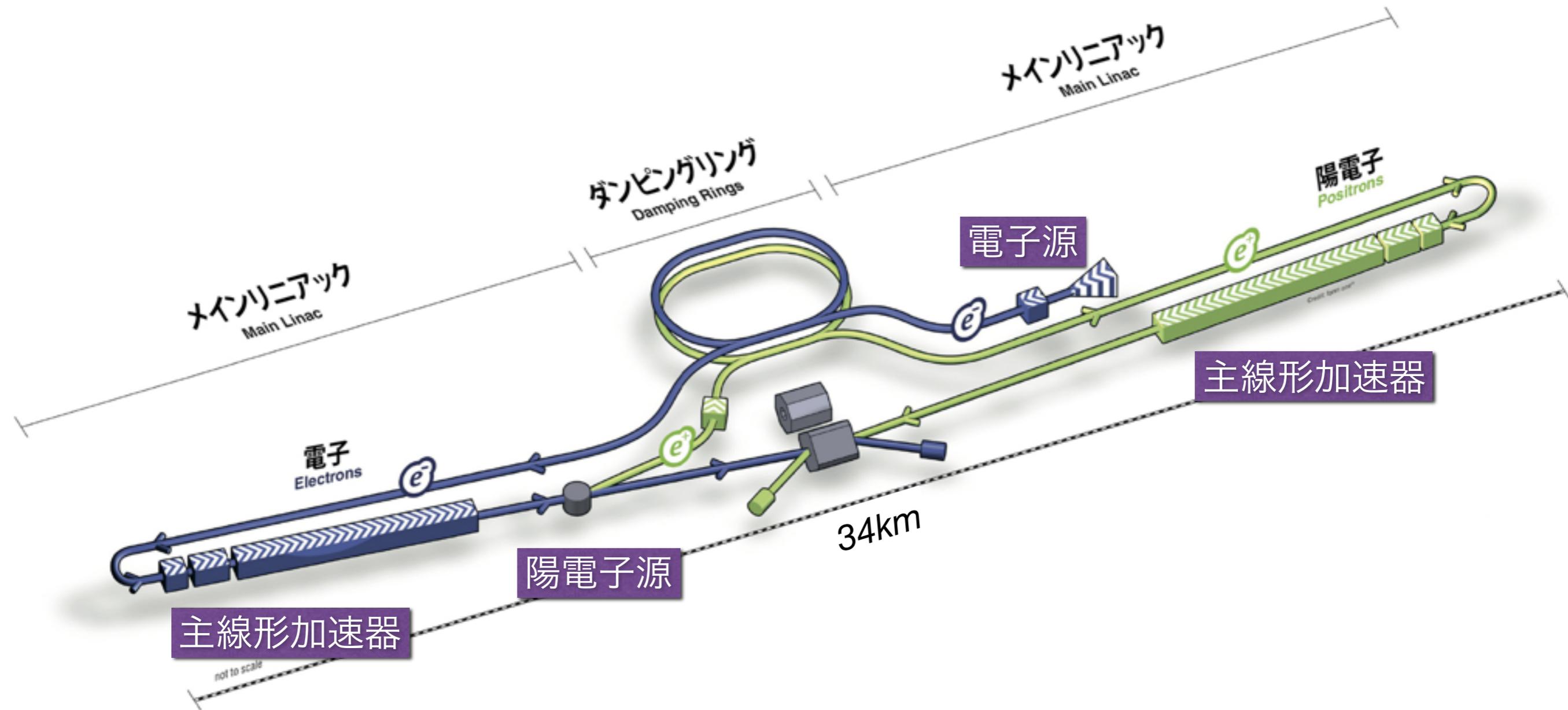
# 加速器

電気を帯びた小さな粒（荷電粒子）を  
磁石の力で思い通りの方向へ曲げる装置



電磁石

# ILC



# リニアコライダーの歴史

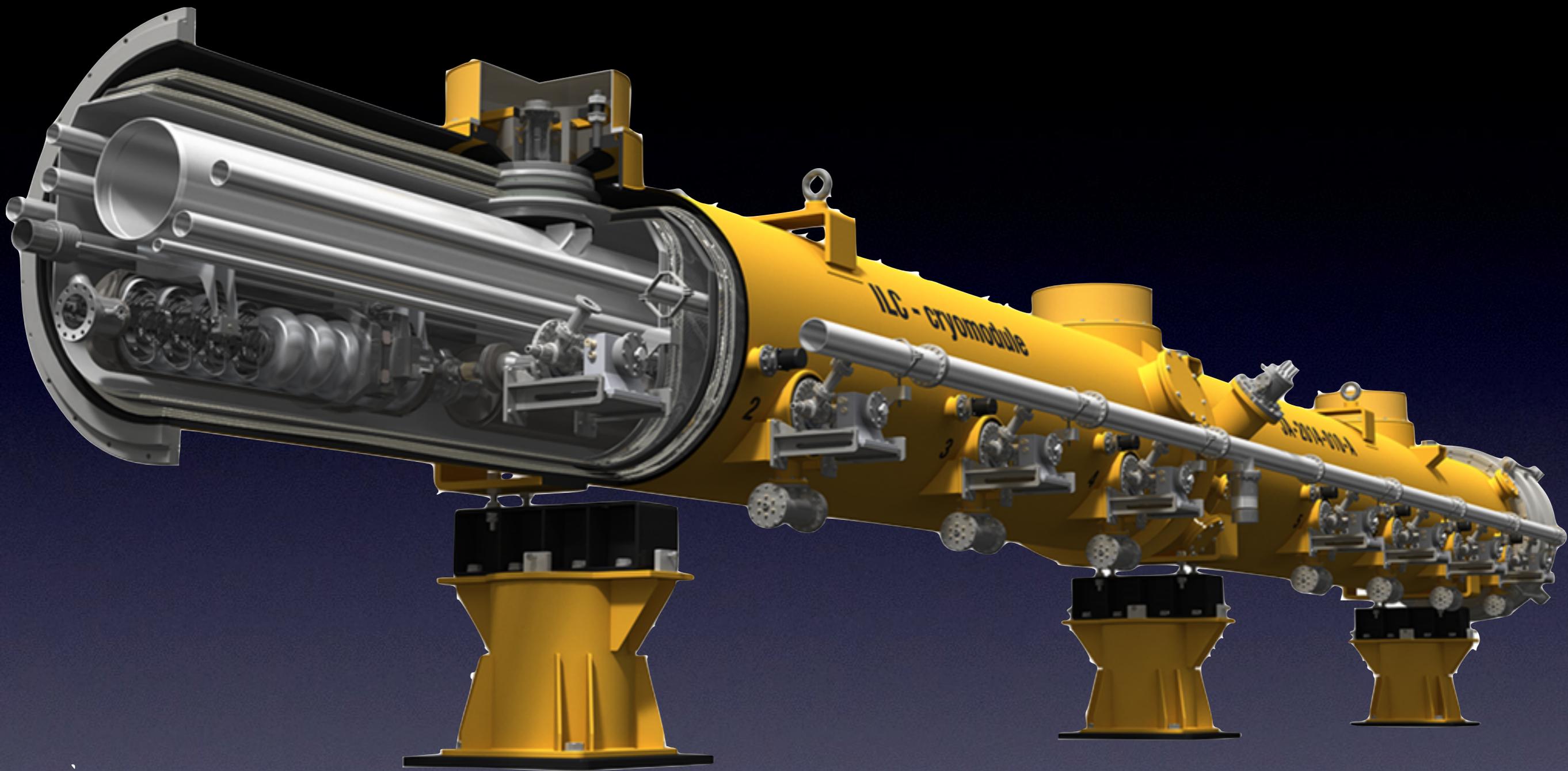
- 1965 リニアコライダーのアイデアが提案される
- 1984 日本での開発研究が始まる
- 1992 『JLC-1』レポート出版
- 2001 サイト検討委員会報告書出版
- 2003 『GLC Project Report』(Roadmap)出版
- 2004 ILCに統合 国際設計チーム(GDE)発足
- 2007 『基本設計書(RDR)』出版
- 2010 山岳地帯施設設計の国際レビュー
- 2013 LCC発足・『技術設計書(TDR)』出版  
サイト評価結果発表(北上サイトが最適)
- 2013～ 北上サイトを仮定した詳細設計が進行中

# ILC 加速器 開発研究

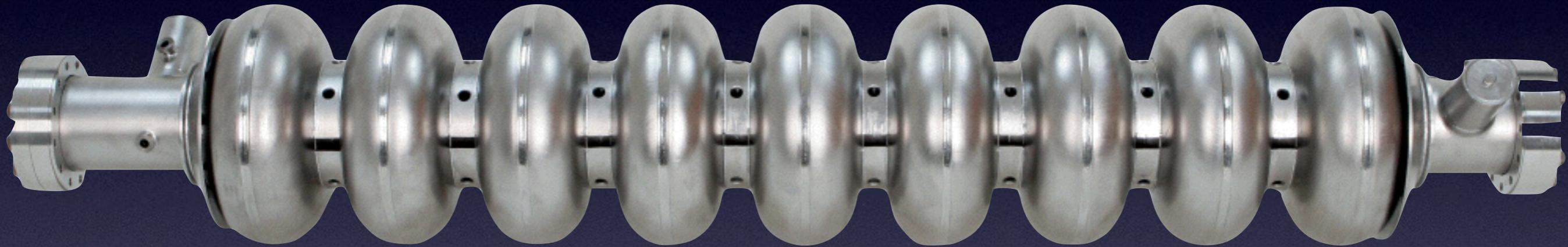
- 瞬く間に加速する
  - ─ STF, SMTF, TTF, XFEL等の施設
- ビームを細く絞り込んで正面衝突させる
  - ─ ATF2

# KEK-STF



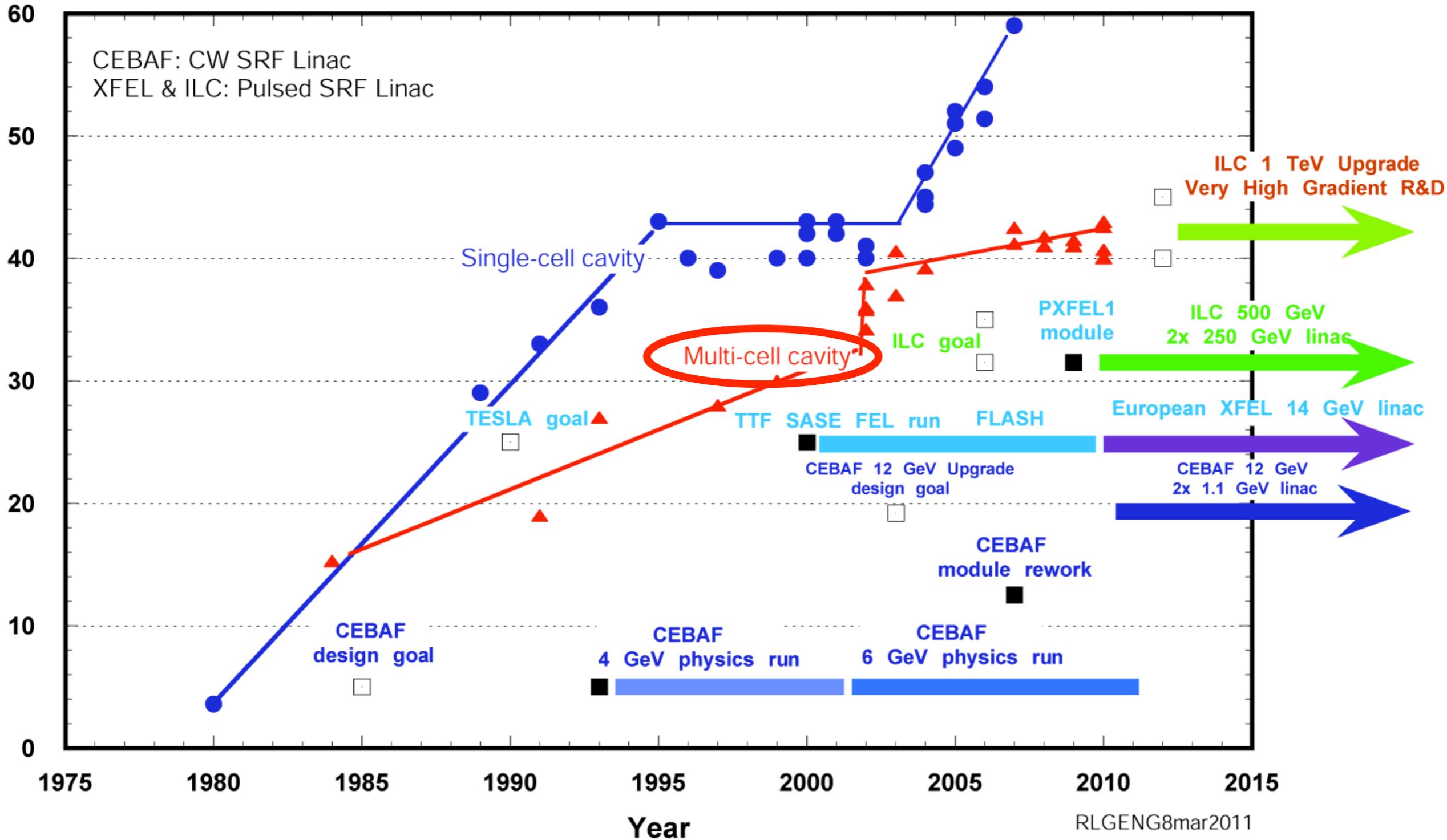


# 加速に用いる超伝導空洞



# L-Band SRF Niobium Cavity Gradient Envelope and Gradient R&D Impact to SRF Linacs

Eacc [MV/m] 単位長さあたりのエネルギー



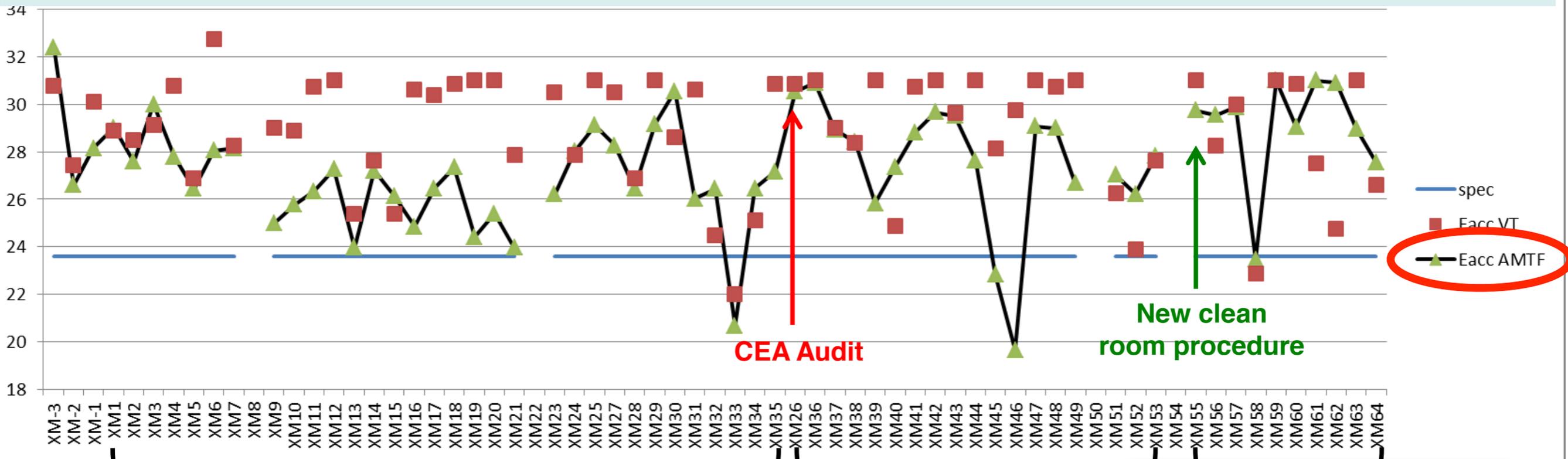
RLGENG8mar2011

courtesy of Rong-Li Geng, Jefferson Lab



## 加速勾配(MV/m)

Average operating gradient per cryomodule, clipping the VT results to 31 MV/m



## モジュールの通し番号

1st sample of 32 series CM  
 $\Delta E_{op} = -2.1$  MV/m

2nd sample of 18 series CM  
 $\Delta E_{op} = -0.7$  MV/m

last 10 series CM  
 $\Delta E_{op} = +0.7$  MV/m



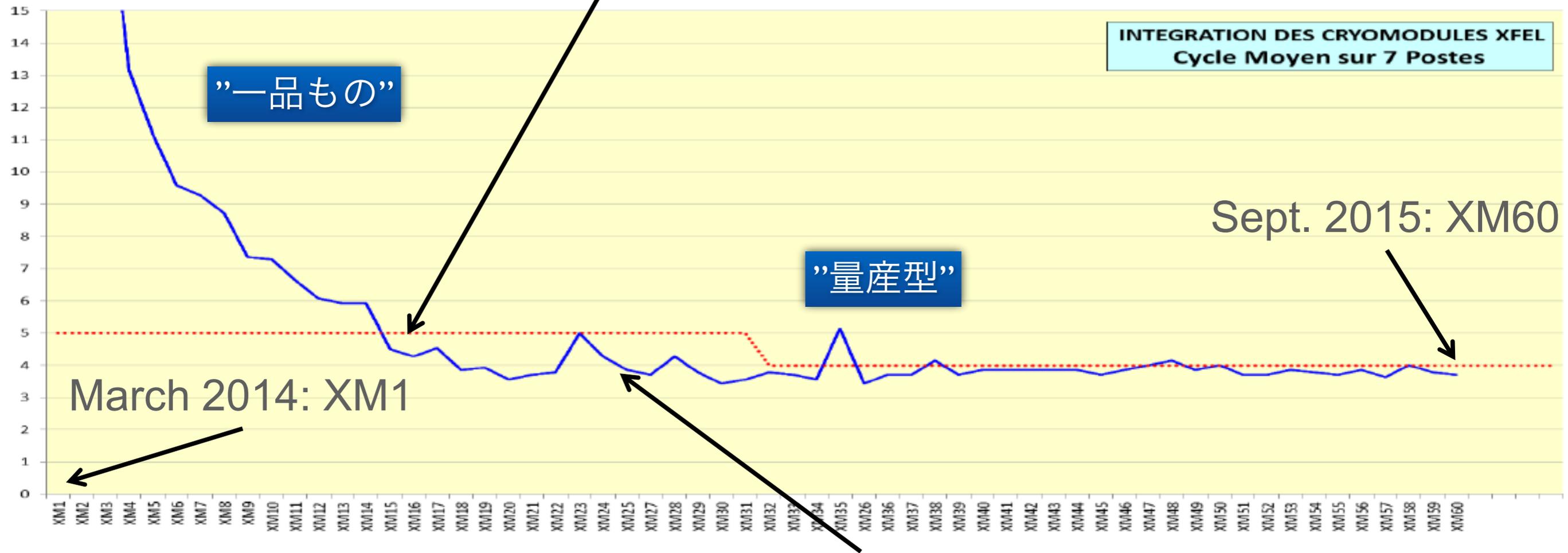
- All but 2 of 59 tested modules are within specification
- Average gradient is 16% above specification
- Significant gradient degradation observed in the first 10 modules  
 effort in achieving production level performance  
 was conducted by CEA on 10 modules
- A simplification of the clean room procedures was introduced at XM54

(m), 4 modules need repair.  
 EA and Alsytom put all their effort in achieving production level performance  
**string and module assembly**

- 5 day throughput was reached **mid-October 2014** with **XM15**  
 ⇒ the design of the Assembly Infrastructure was sound

クライオモジュール1台を作るのに要した日数

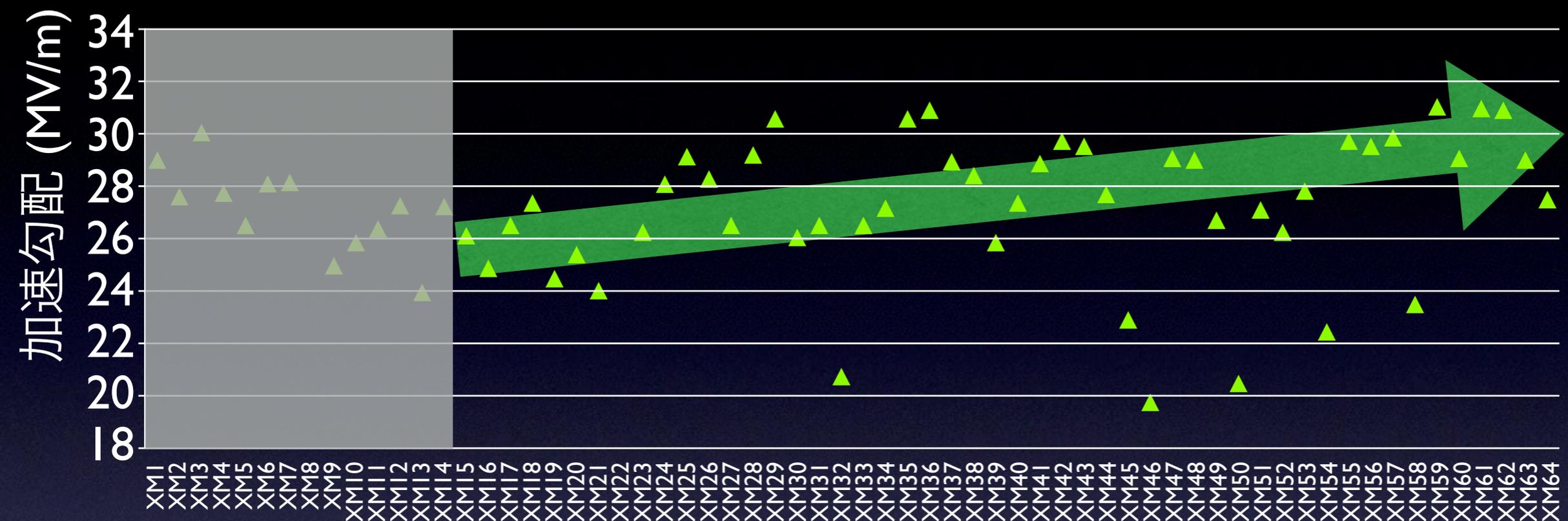
Courtesy **ALSYOM**  
 ALCEN



4-day throughput was reached in **January 2015** with **XM25**

This 'accelerated' rate is needed to close the XFEL tunnel mid-2016:

- XM80 to be delivered at the end of December 2015
- XM100 to be delivered at the end of April 2016



モジュールの通し番号

2014年  
10月

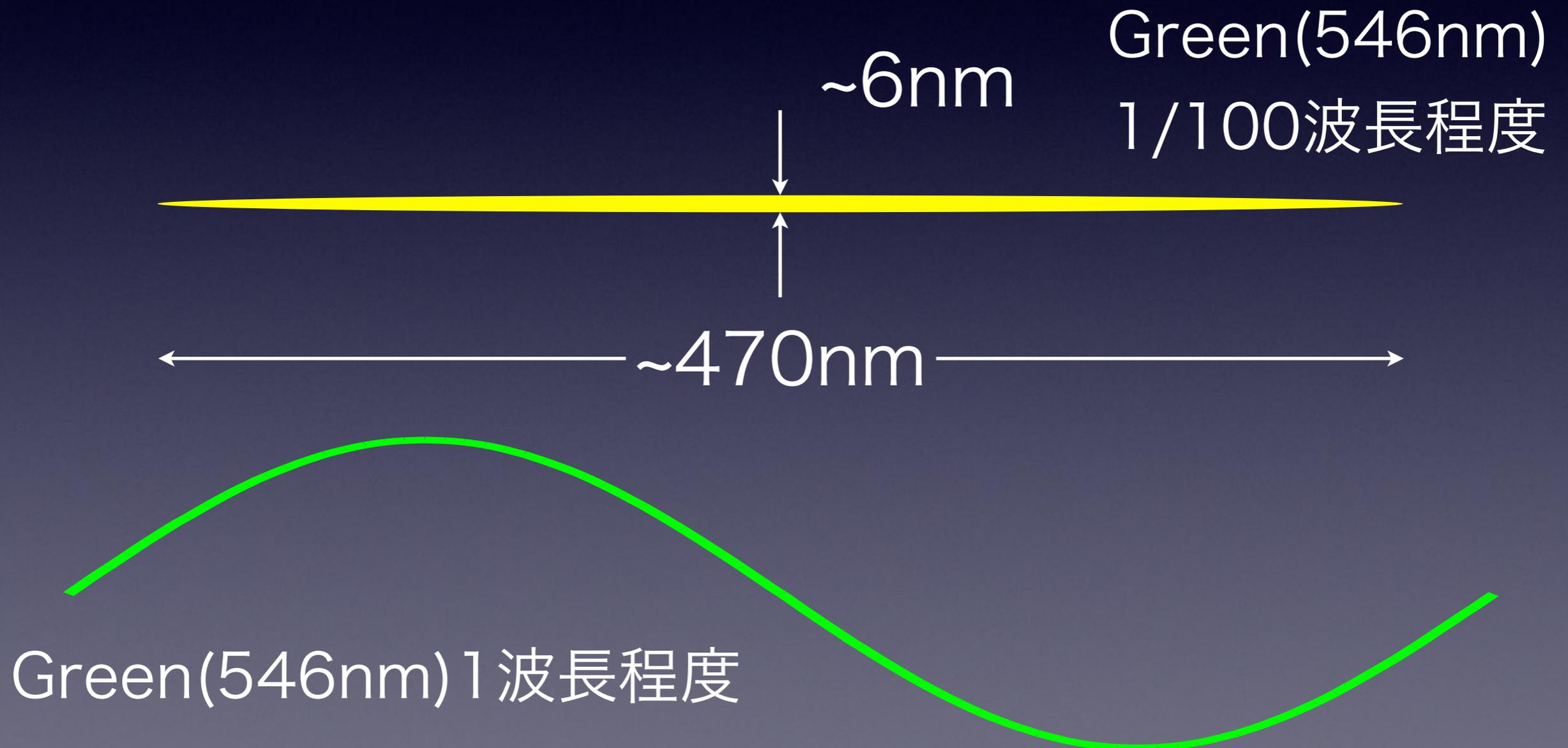
2015年  
9月

# ILC 加速器 開発研究

- 瞬く間に加速する
  - STF, SMTF, TTF, XFEL等の施設
  
- ビームを細く絞り込んで正面衝突させる
  - ATF2

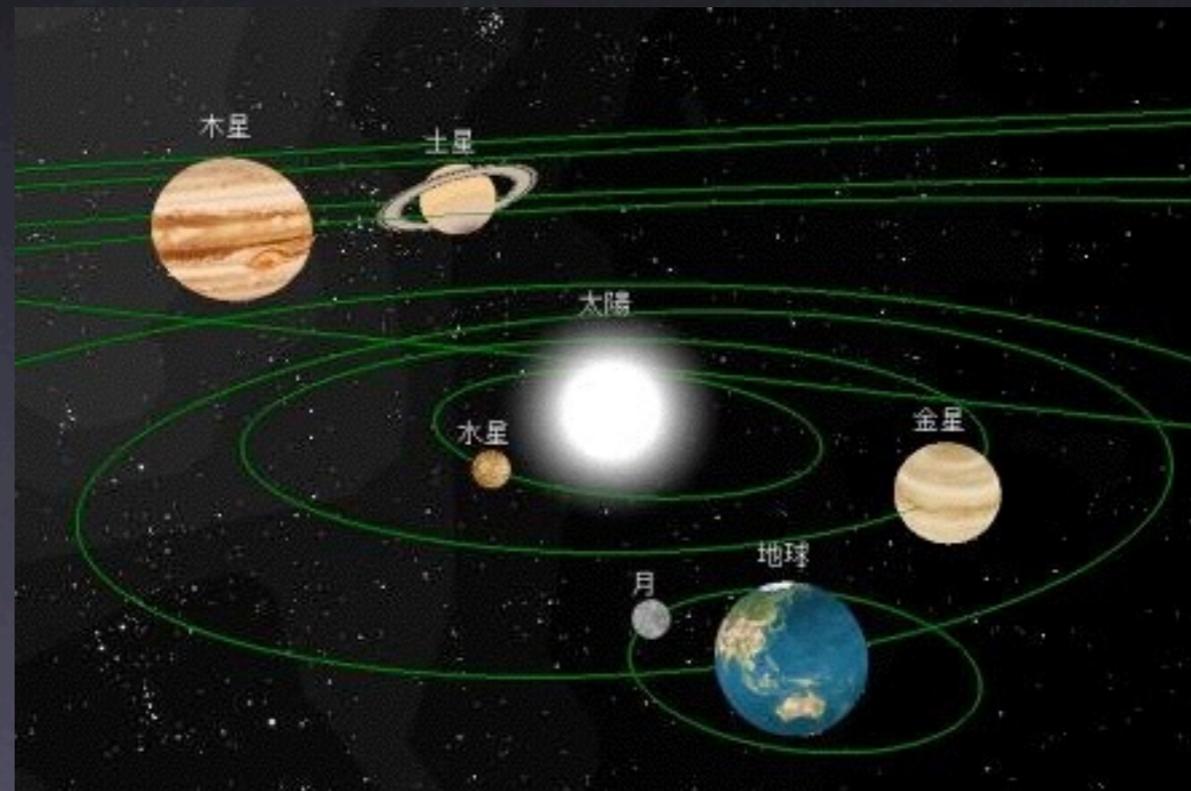
# 詰め込む

$10^{10}$ 個（100億個）の電子を狭い空間に詰め込む



# “塊”同士を衝突させる

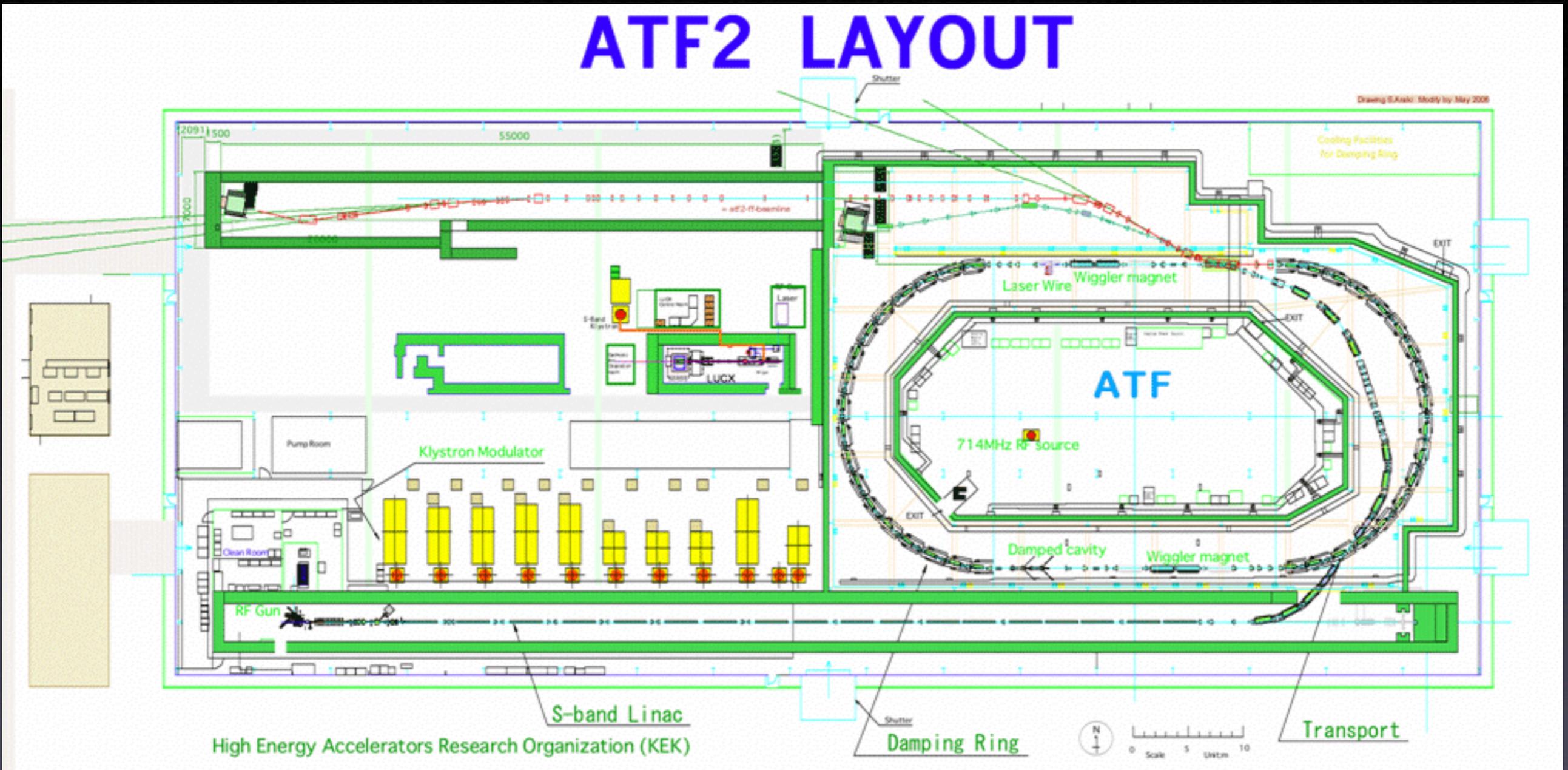
1月と7月の地球の位置からピンポン球を打ち出して  
正面衝突させるくらいの難しさ



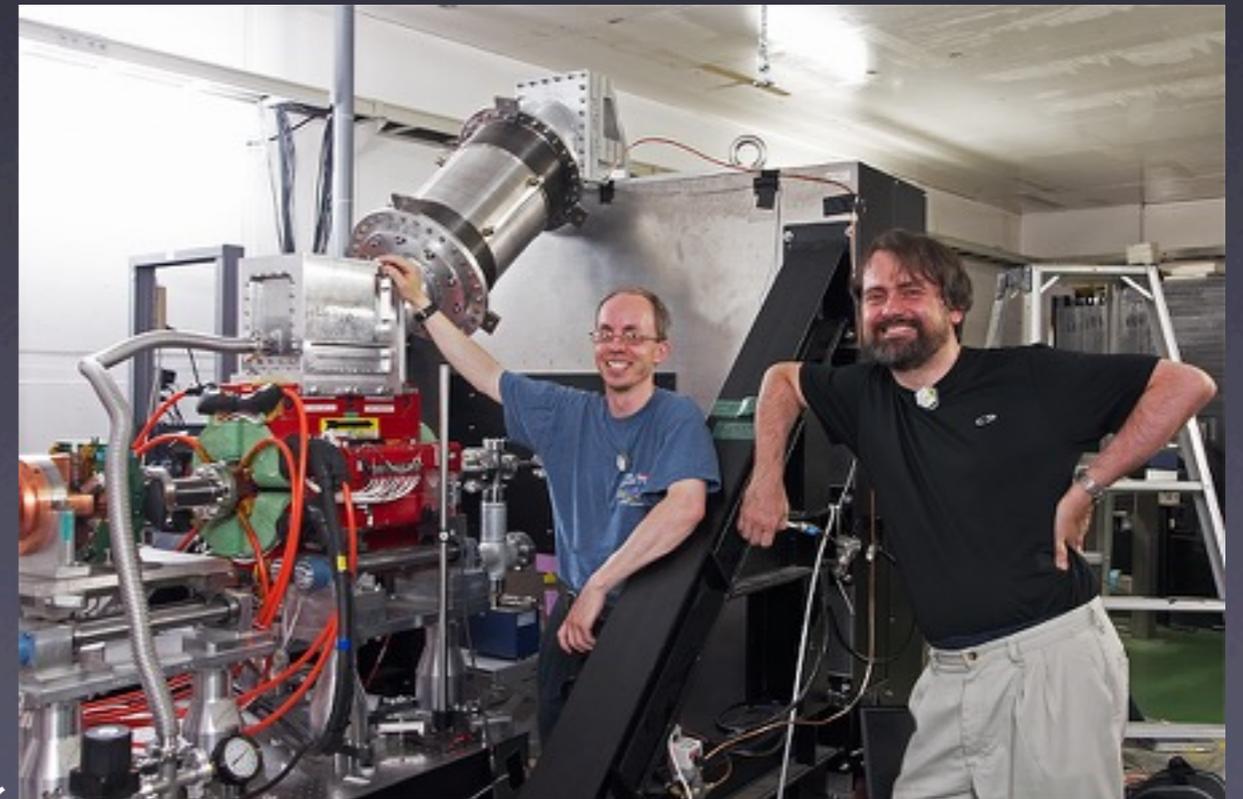
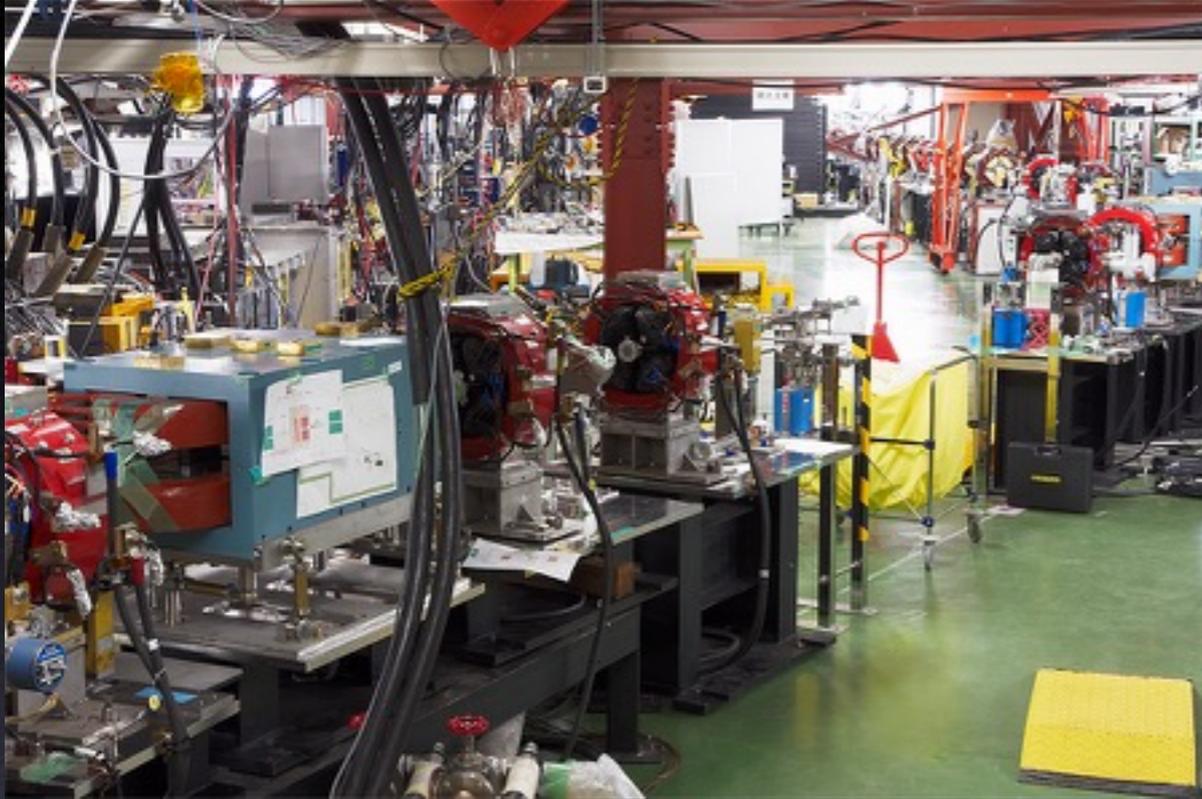
<http://universe.chimons.org/contents/solar.html>

# KEK-ATF/ATF2

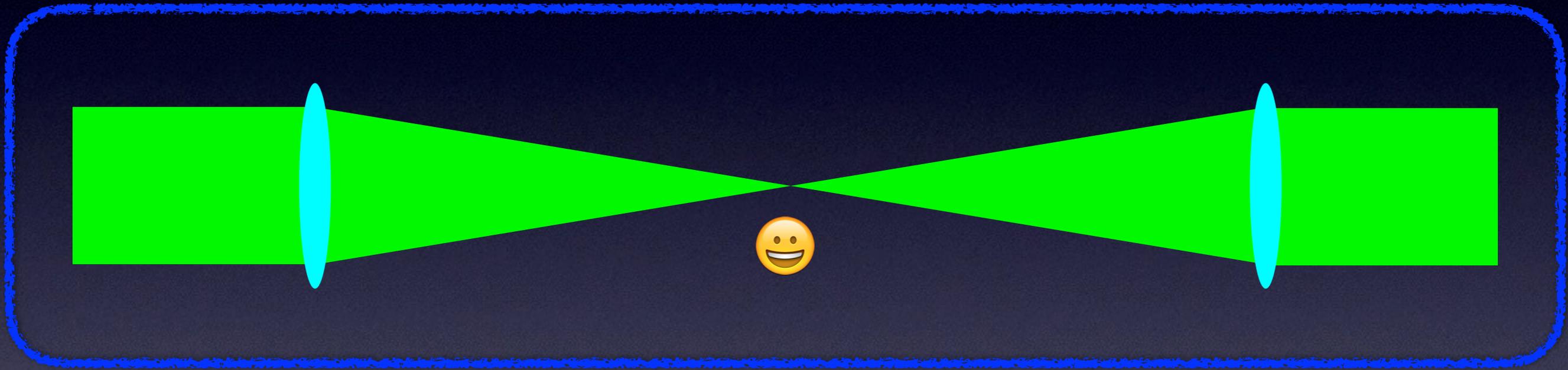
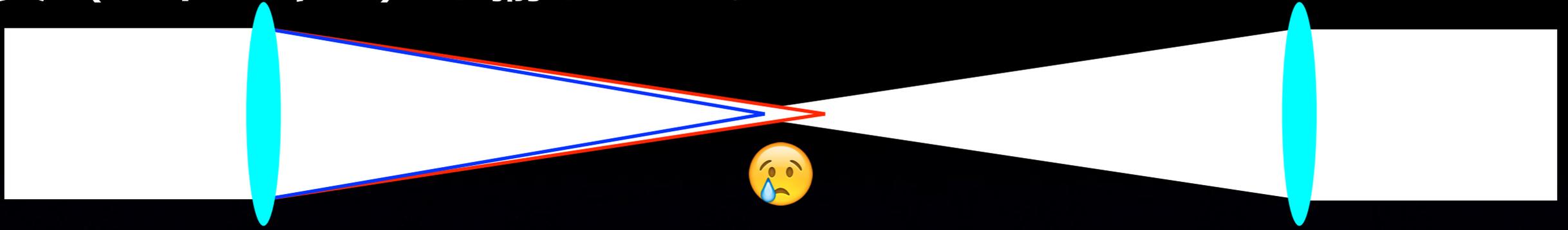
## ATF2 LAYOUT



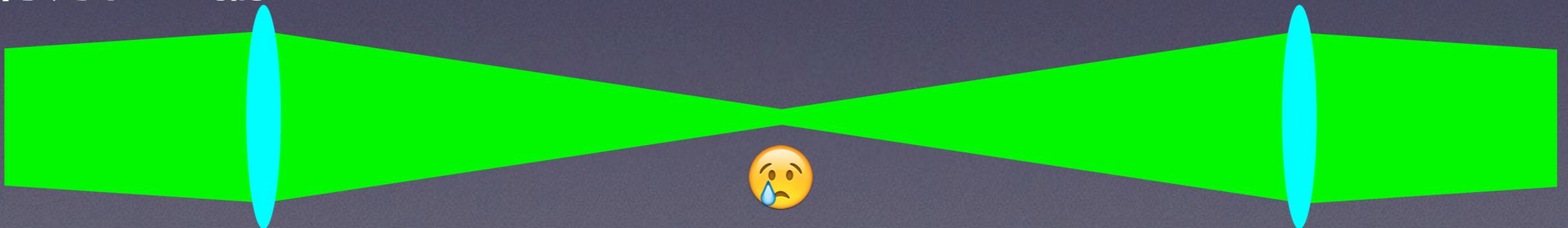
# KEK-ATF/ATF2



波長（エネルギー）が揃っていない

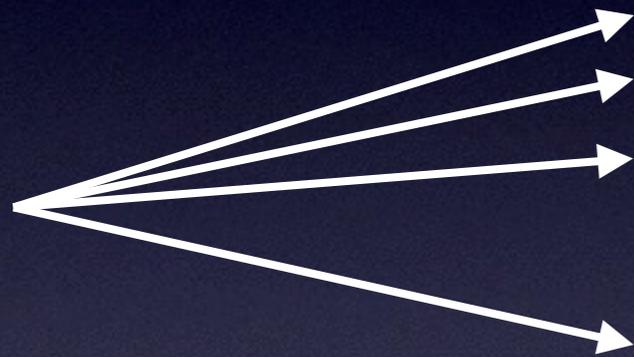


進行方向が揃っていない

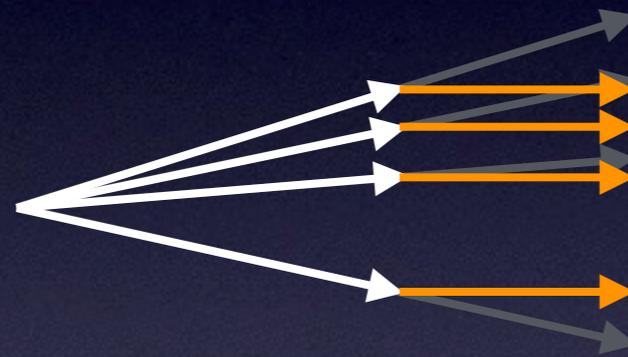


# 輻射減衰 (radiation damping)

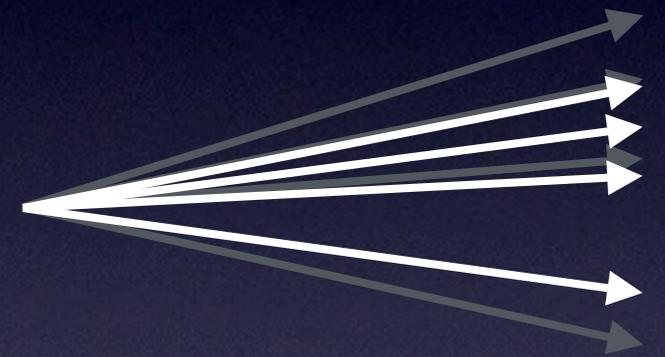
リングを周回するうちに  
シンクロトン放射によって  
各粒子はエネルギーを失う



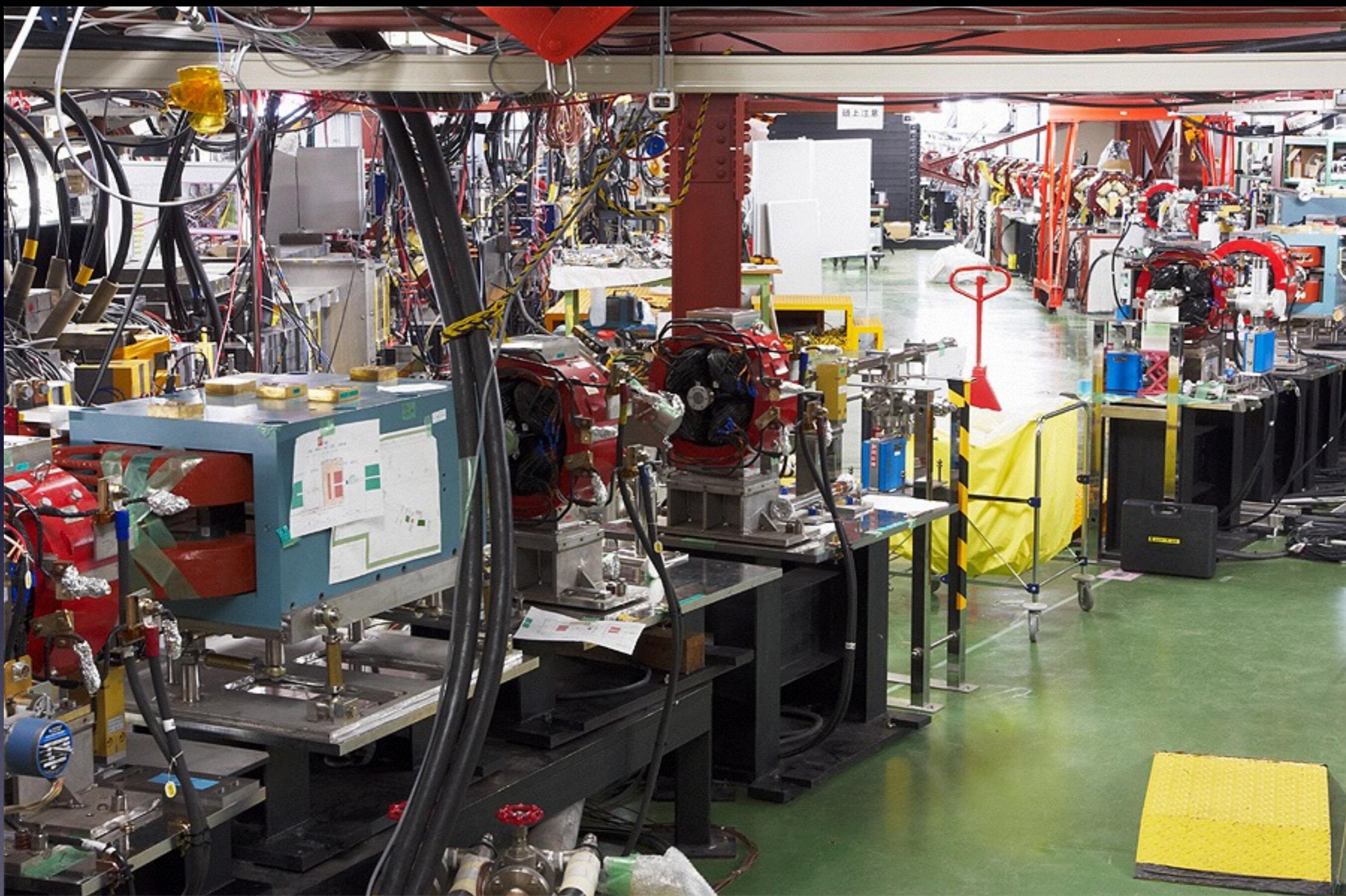
失ったエネルギーを補うために  
加速する



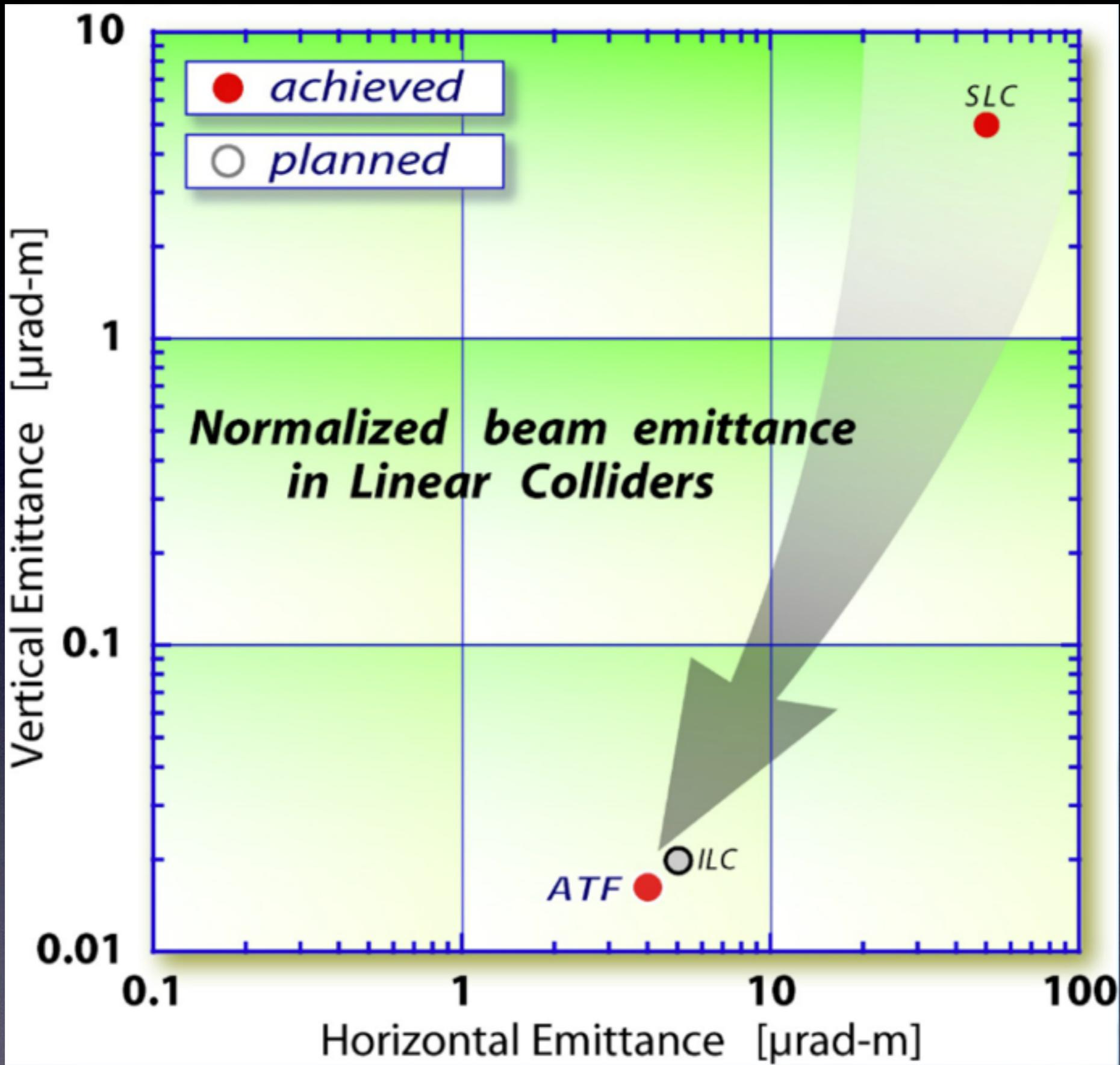
進行方向が揃ってくる



→ ビームの進行方向

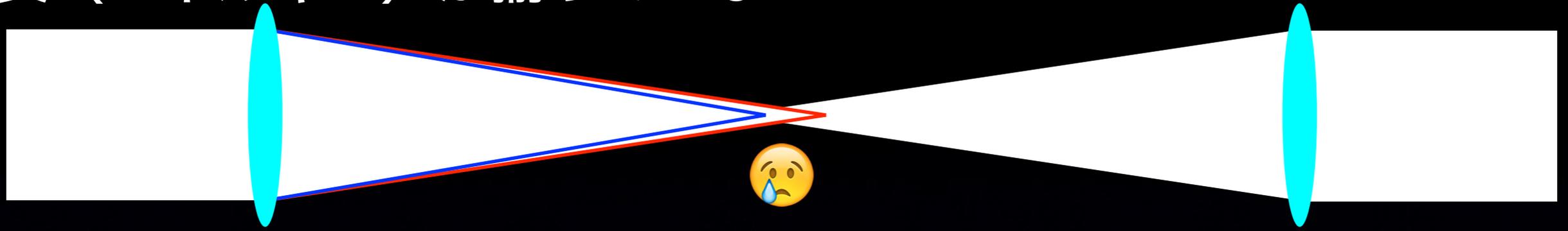


縦方向の”広がり具合”

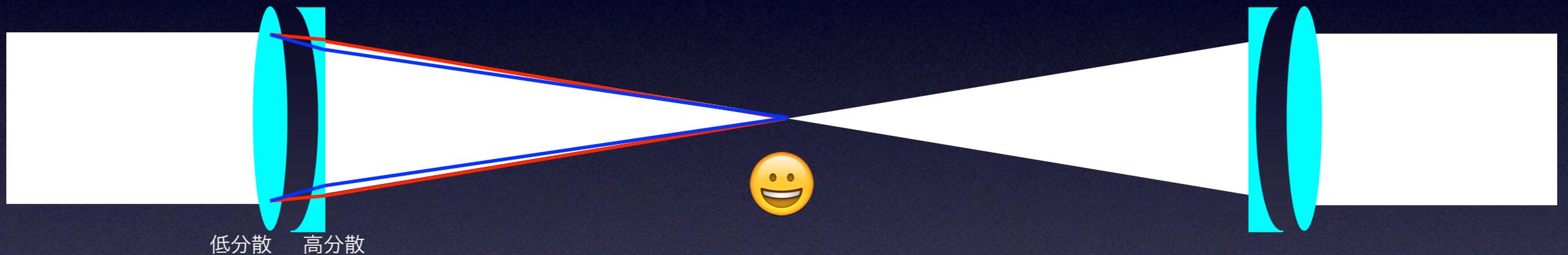


縦方向の”広がり具合”

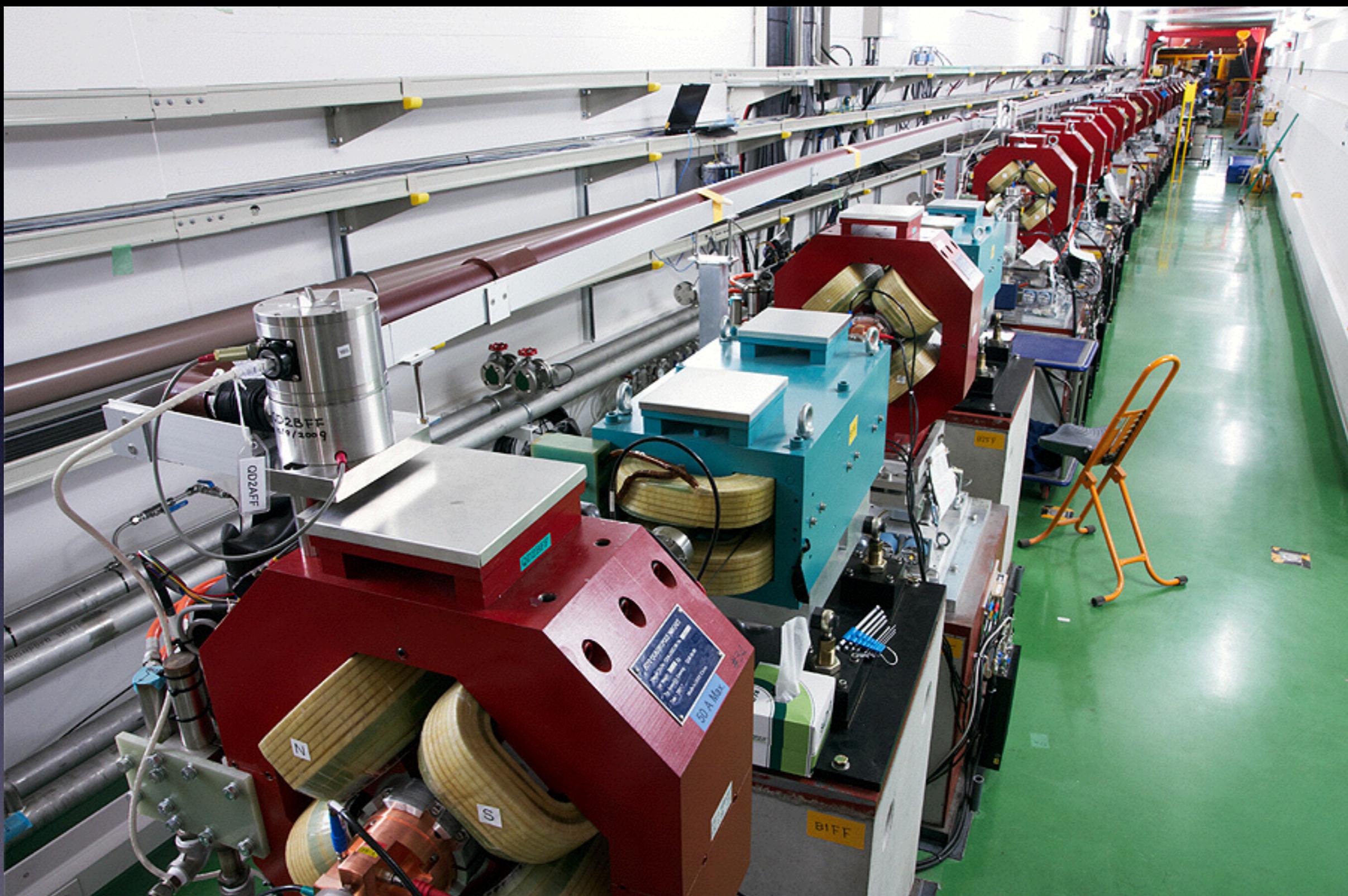
波長（エネルギー）が揃っていない



補正レンズを入れれば良い

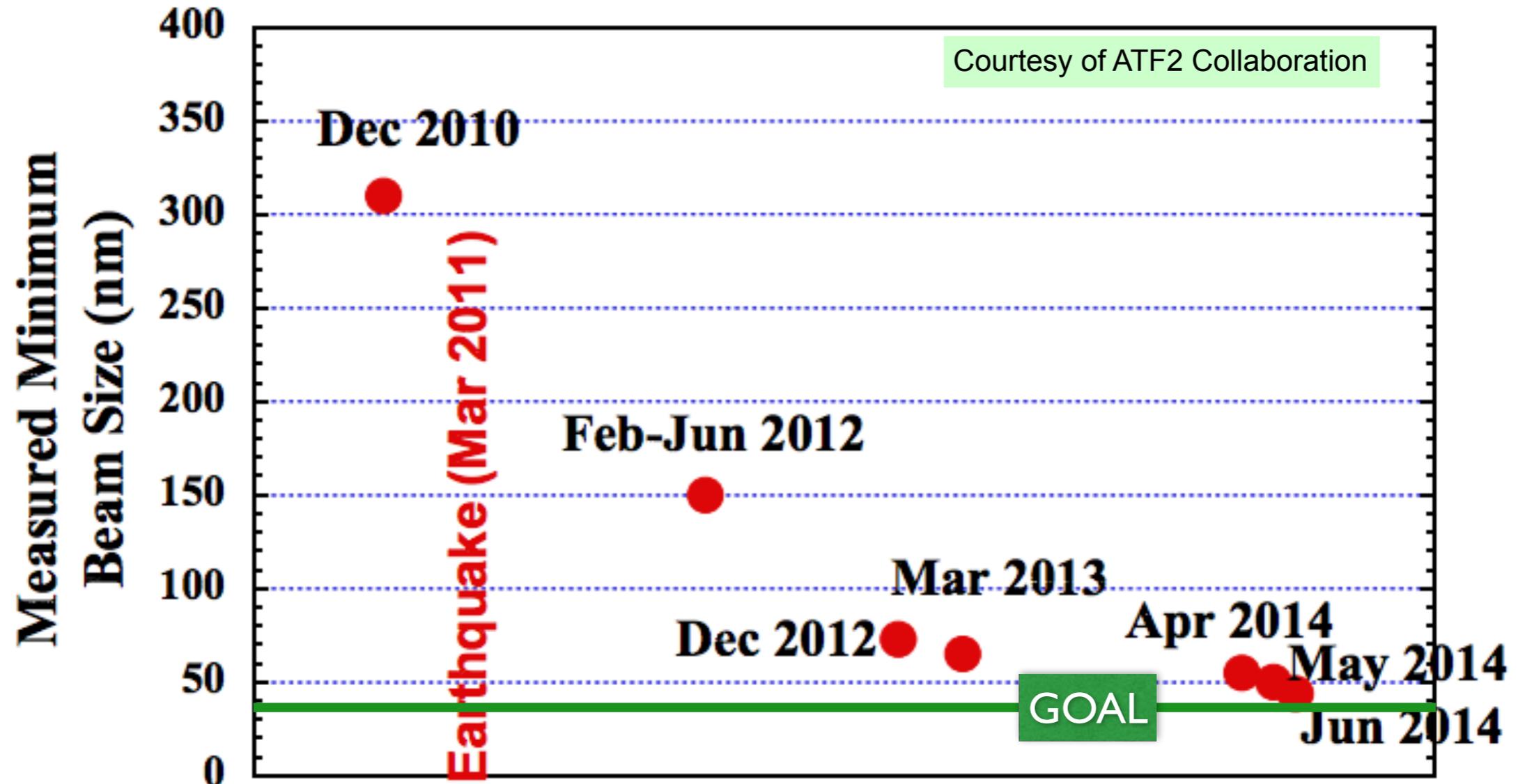


光束 ⇔ 電子・陽電子ビーム  
レンズ ⇔ 四重極磁石、六重極磁石



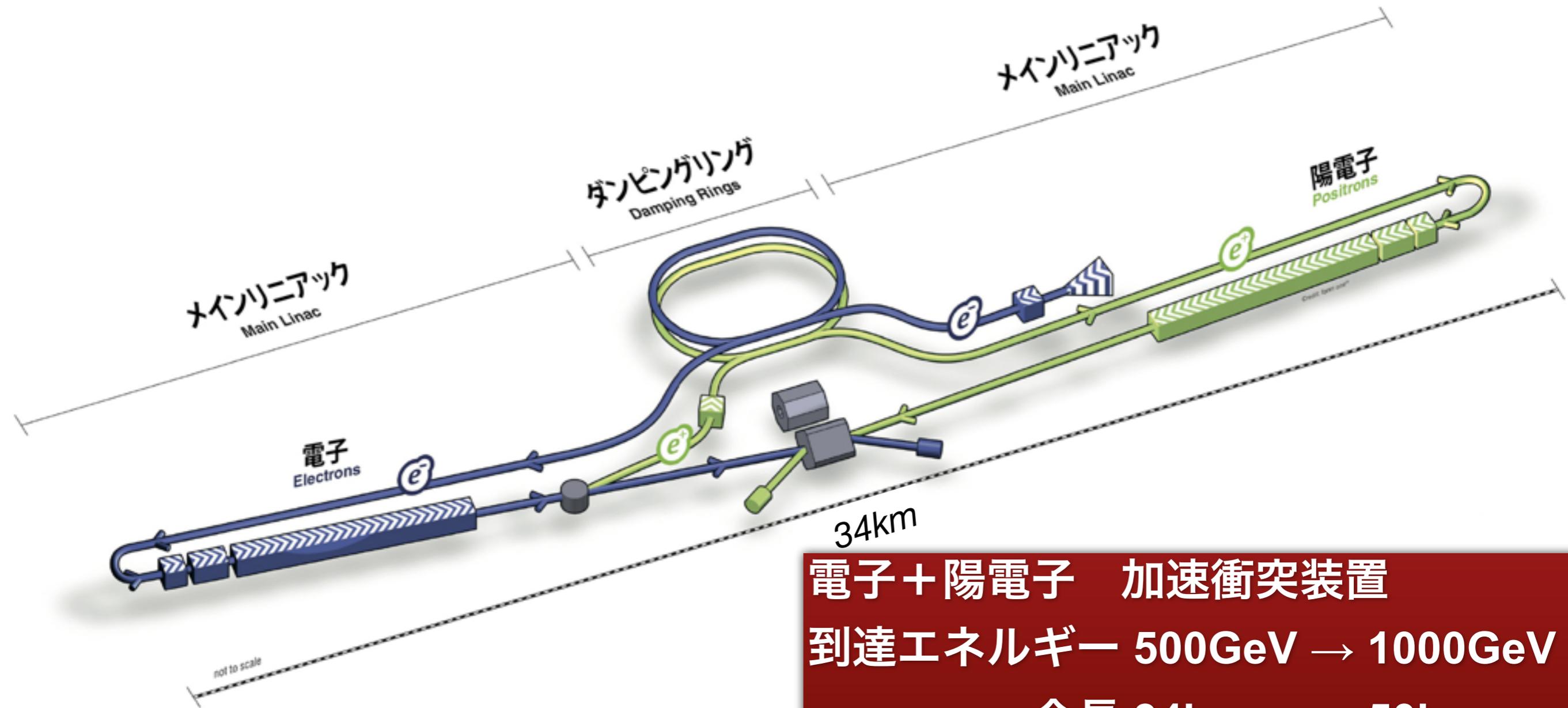
## Beam Delivery System Tests: ATF2 at KEK

After a few years of operation it has achieved 44 nm at 10% of the nominal intensity.



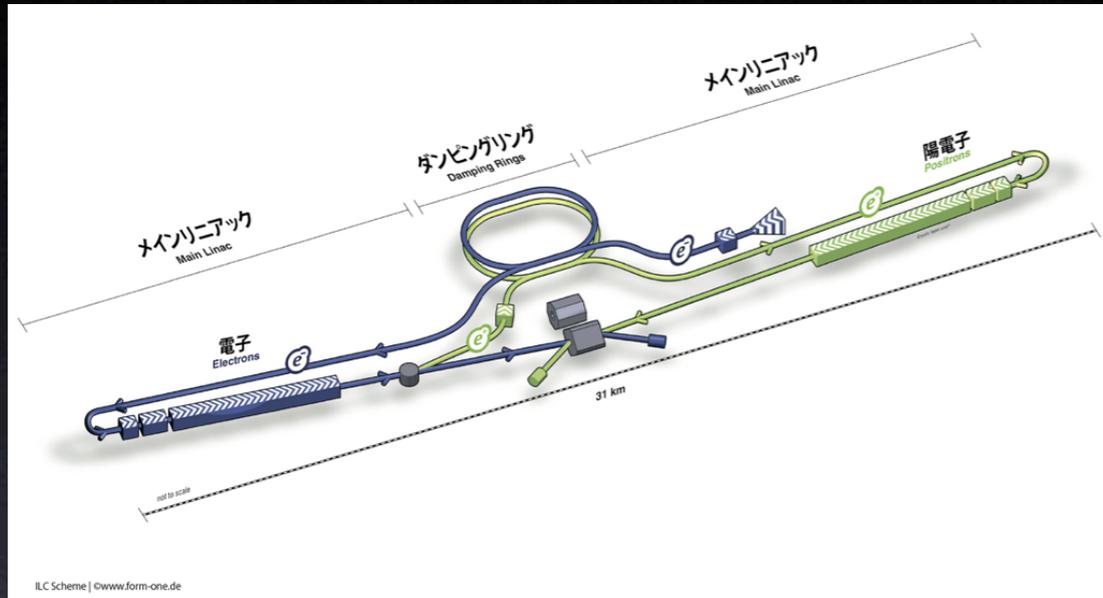
Local chromaticity correction scheme works. Yet, the tuning proves to be a challenging task not only experimentally at ATF2, but also in computer simulations.

# ILC

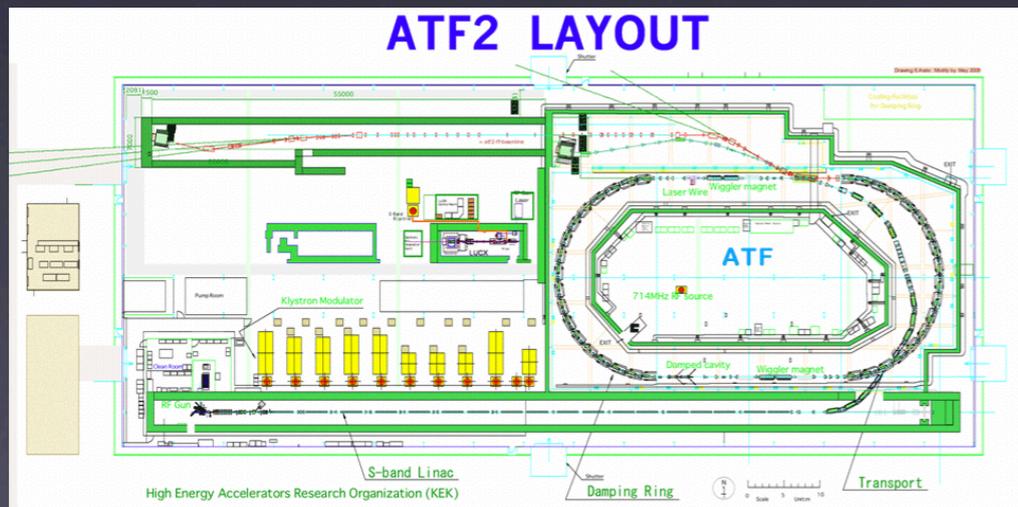


電子 + 陽電子 加速衝突装置  
到達エネルギー 500GeV → 1000GeV  
全長 34km → 50km  
北上山地 (岩手県~宮城県)

# ILC=ATF/ATF2+STF x 900



=



+



x 900

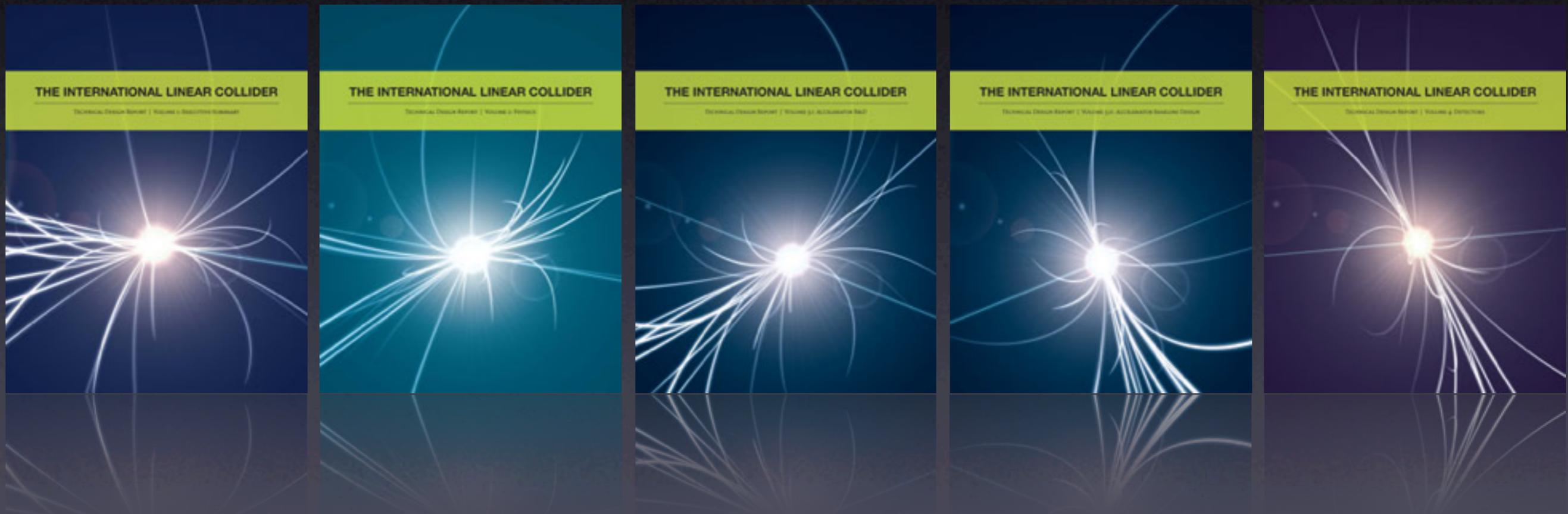
# 計画の概要

# リニアコライダーの歴史

- 1965 リニアコライダーのアイデアが提案される
- 1984 日本での開発研究が始まる
- 1992 『JLC-1』 レポート出版
- 2001 サイト検討委員会報告書出版
- 2003 『GLC Project Report』 (Roadmap)出版
- 2004 ILCに統合 国際設計チーム(GDE)発足
- 2007 『基本設計書 (RDR)』 出版
- 2010 山岳地帯施設設計の国際レビュー
- 2013 LCC発足・ 『技術設計書 (TDR)』 出版  
サイト評価結果発表 (北上サイトが最適)

# Technical Design Report

## 技術設計書



2013年6月12日 堂々公開！！

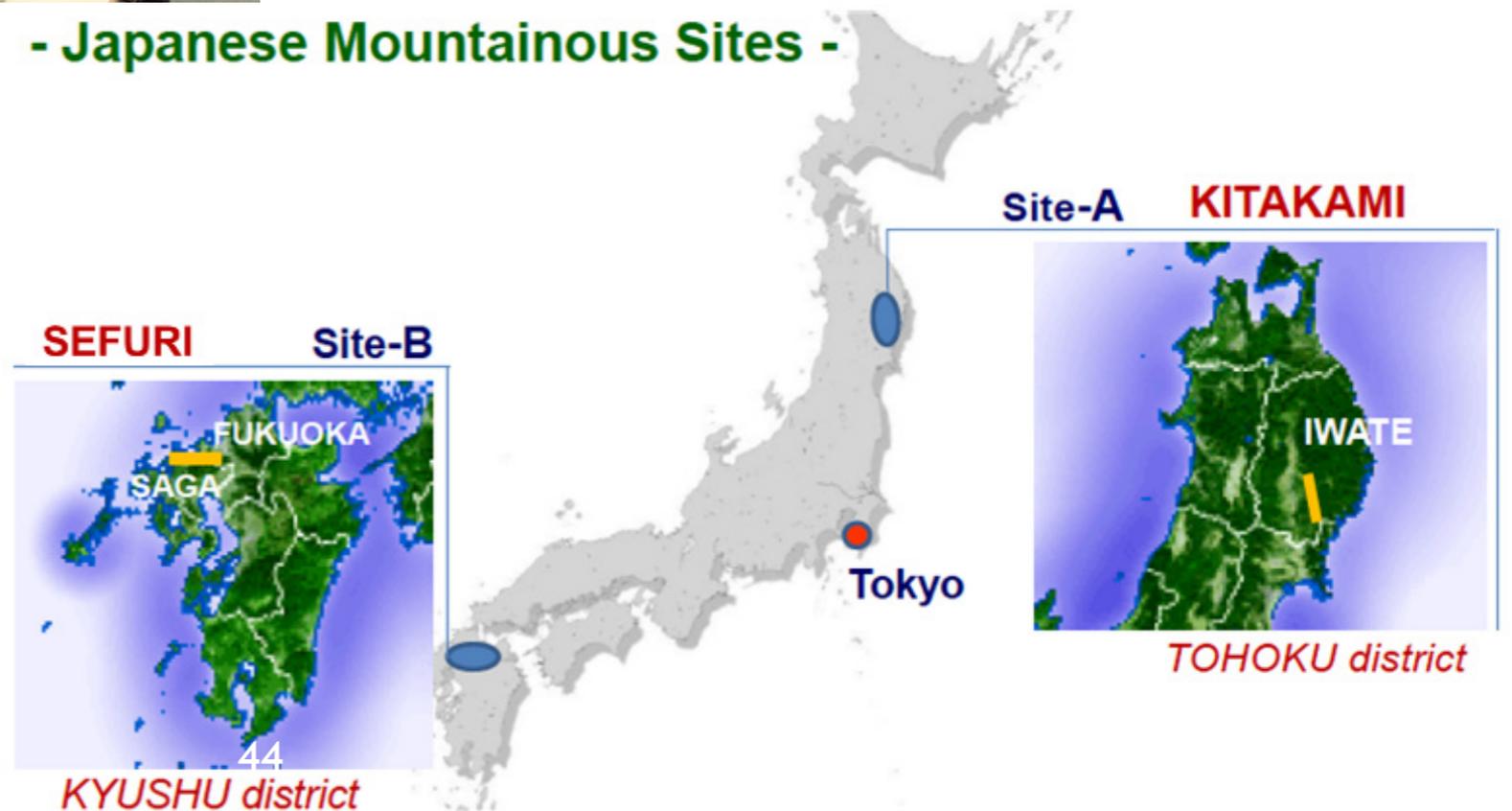


# Japan – Preferred Site selection



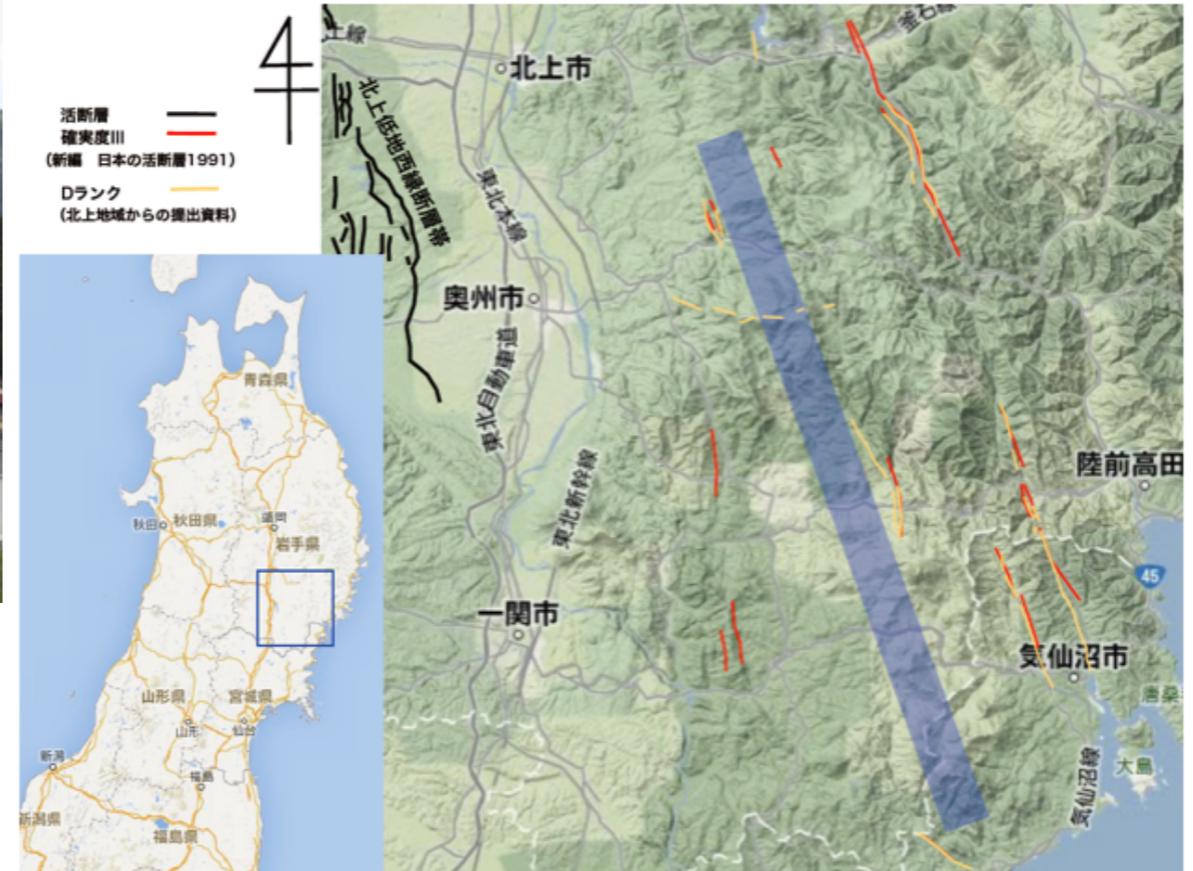
“Issues that could lead to particularly serious difficulties for the Sefuri site are that the route passes under or near a dam lake, and that the route passes under a city zone. Also, the lengths of access tunnels are longer for the Sefuri site than for the Kitakami site leading to a large merit for the latter in terms of cost, schedule, and drainage”

## - Japanese Mountainous Sites -





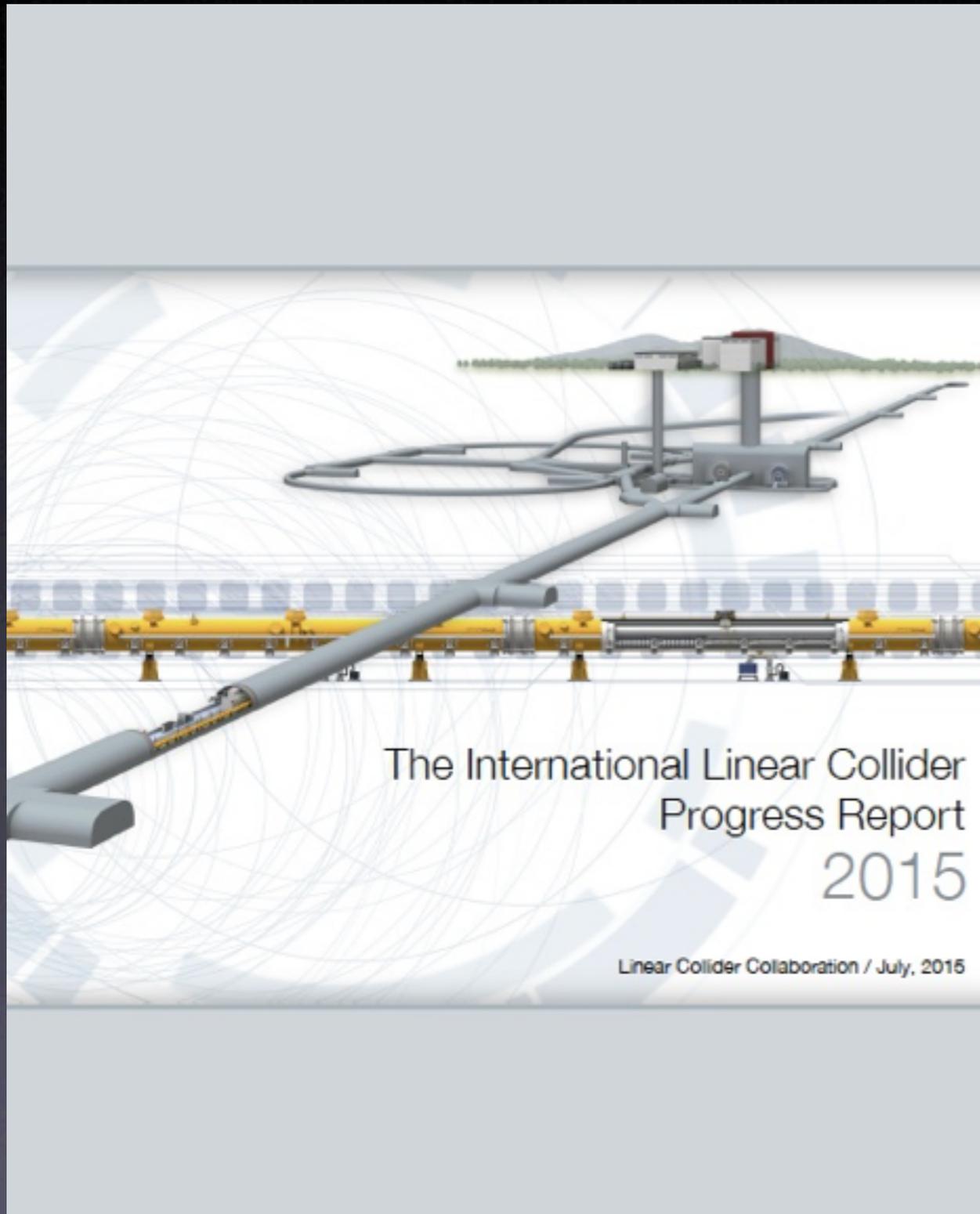
# Preferred Site selected



# リニアコライダーの歴史

- 1965 リニアコライダーのアイデアが提案される
- 1984 日本での開発研究が始まる
- 1992 『JLC-1』レポート出版
- 2001 サイト検討委員会報告書出版
- 2003 『GLC Project Report』 (Roadmap)出版
- 2004 ILCに統合 国際設計チーム(GDE)発足
- 2007 『基本設計書 (RDR)』出版
- 2010 山岳地帯施設設計の国際レビュー
- 2013 LCC発足・『技術設計書 (TDR)』出版  
サイト評価結果発表 (北上サイトが最適)
- 2013～ 北上サイトを仮定した詳細設計が進行中

# Progress Report



## Progress after ILC-TDR

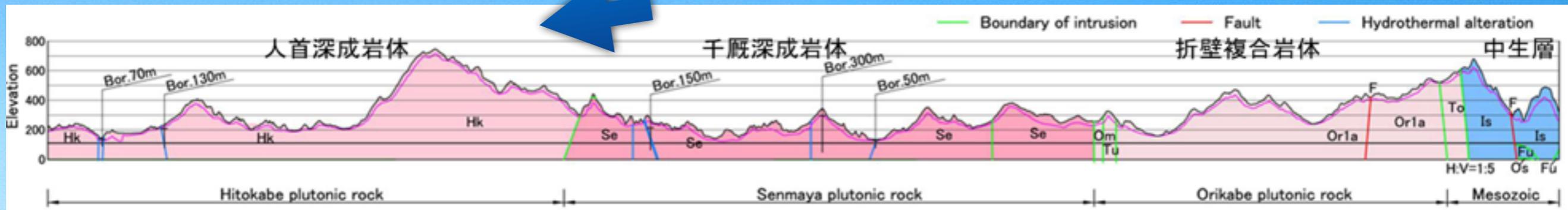
1. Introduction
2. Post-GDE organization & activities
3. The preferred site
4. Geol. survey and CE study
5. Acc. hardware design & development updates
6. Layout updates for acc./associated systems
7. Integration and test facilities
8. The Scale of a hub-laboratory ...
9. Project Implementation plan
10. Further preparatory work
11. Summary

地元大学として

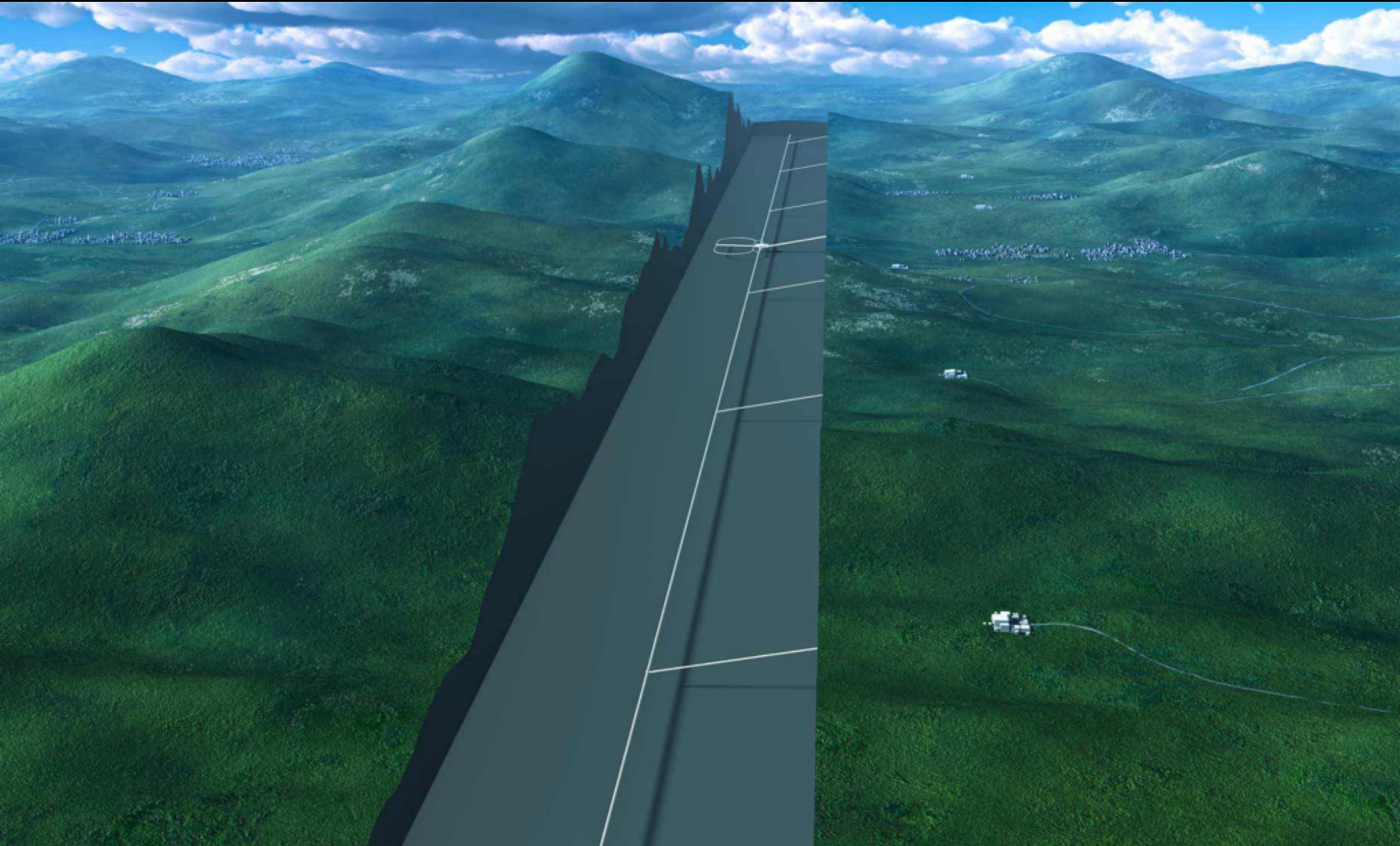
# 北上サイト：典型的な風景

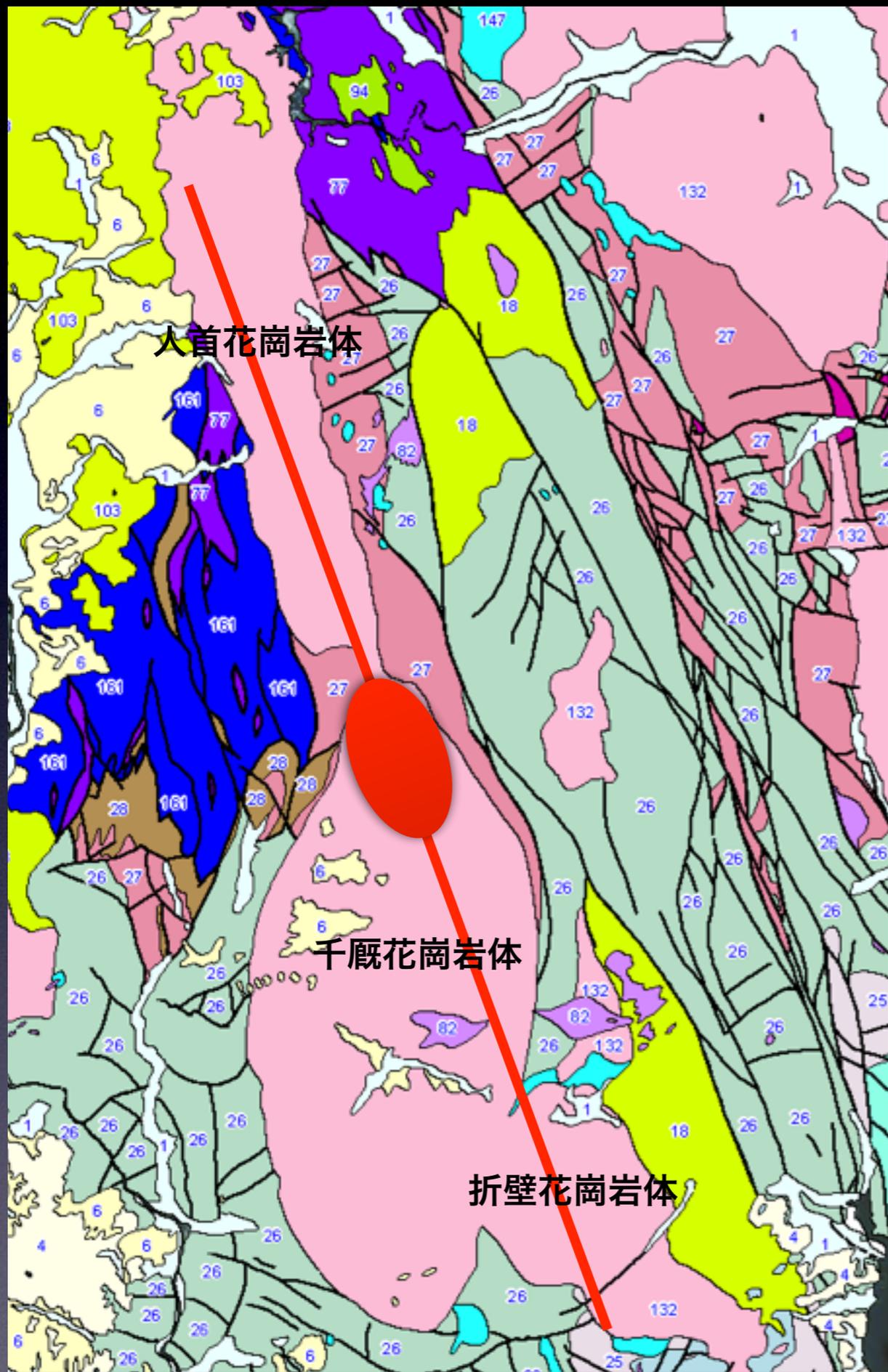


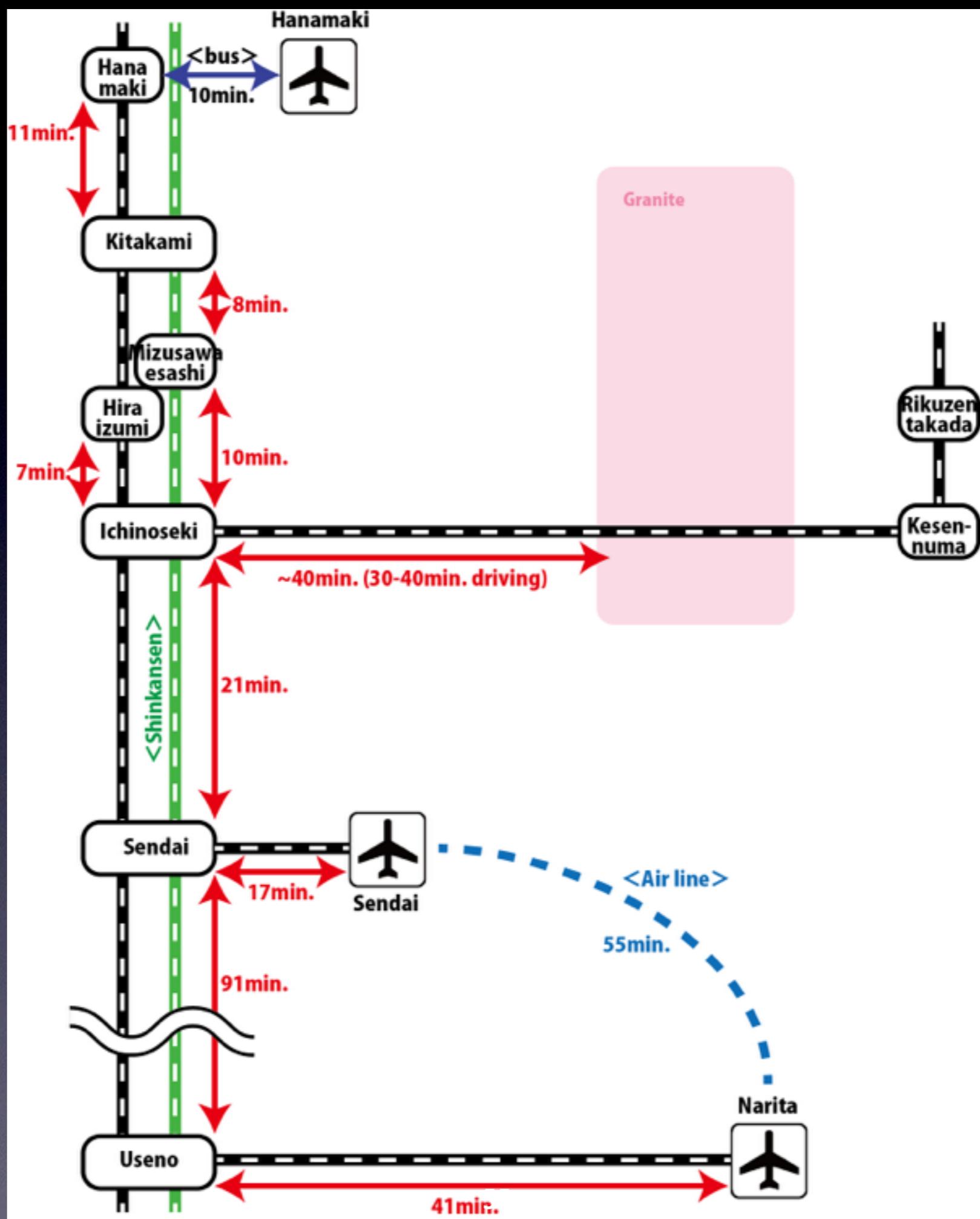
里山サイト



aerial photograph







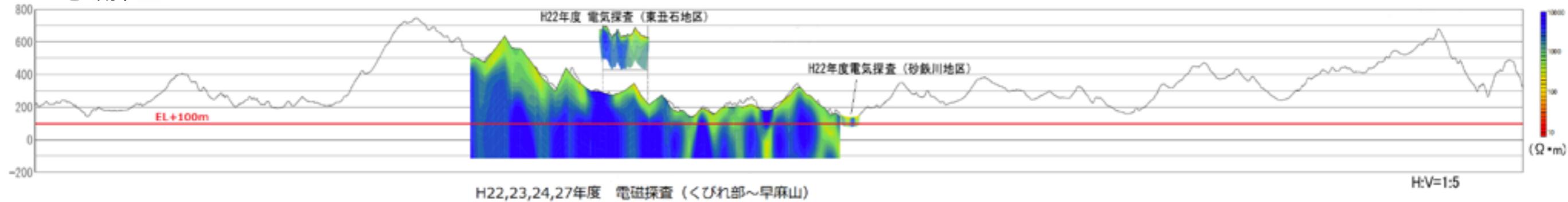
# 電磁探査・弾性波探査

電磁探査： 割れ目が多い ← 少ない

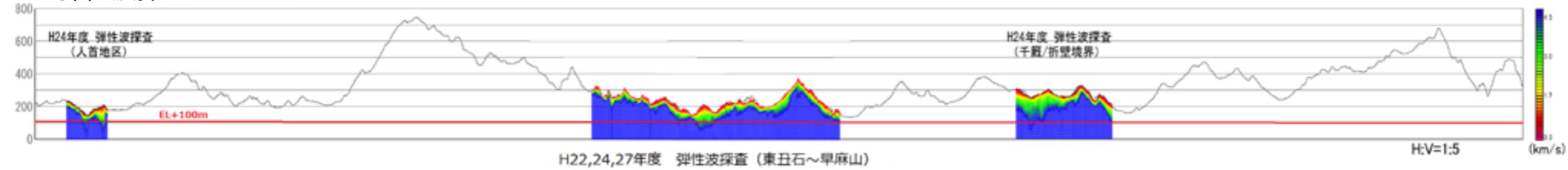


弾性波探査： 岩が柔らかい ← 堅い

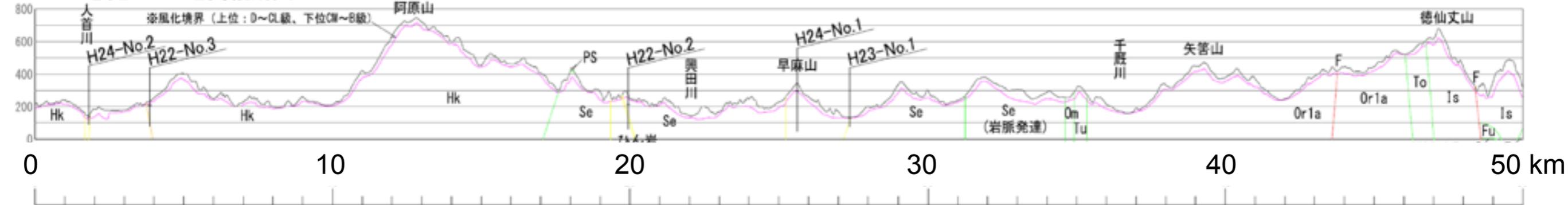
## ○ 電磁探査



## ○ 弾性波探査



## ○ ILC想定ルート地質縦断図



31 km

# ボーリング調査



孔名 : H27-No. 1孔 掘削期間2015/9/17~2015/ / 掘進長 : 140.00m 掘削期間2015/9/17~2015/ /		
深度 GL-m	コア写真	深度 GL-m
100		101
101		102
102		103
103		104
104		105
105		106
106		107
107		108
108		109
109		110
110		111
111		112
112		113
113		114
114		115
115		116
116		117
117		118
118		119
119		120

コア写真 (H27-No. 1孔)

# アクセストンネル坑口



# 設計から実現へ

<http://research.kek.jp/people/nojiri/masterplan/masterplan.html> および、  
[https://agenda.linearcollider.org/event/7014/contributions/36896/attachments/30120/45023/20160601\\_Santander-industry-V2.pdf](https://agenda.linearcollider.org/event/7014/contributions/36896/attachments/30120/45023/20160601_Santander-industry-V2.pdf) より  
抜粋したスライドをご覧に入れました。

# ILCの実現へ向けて

研究者が提案したスケジュール (2013)

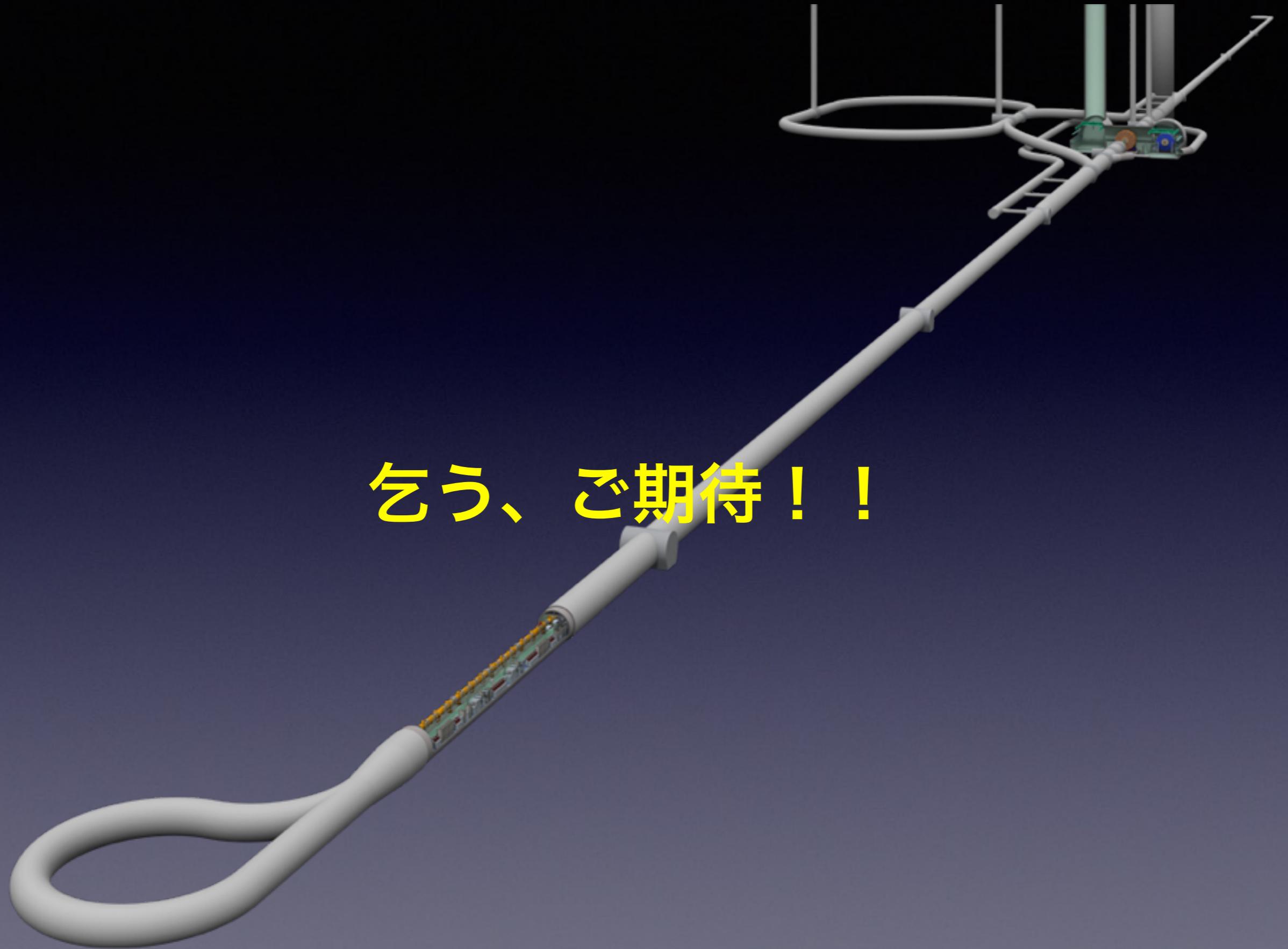


# リニアコライダーの歴史

- 1965 リニアコライダーのアイデアが提案される
- 1984 日本での開発研究が始まる
- 1992 『JLC-1』レポート出版
- 2001 サイト検討委員会報告書出版
- 2003 『GLC Project Report』 (Roadmap)出版
- 2004 ILCに統合 国際設計チーム(GDE)発足
- 2007 『基本設計書 (RDR)』出版
- 2010 山岳地帯施設設計の国際レビュー
- 2011 東北地方太平洋沖地震 (3.11)
- 2013 LCC発足・『技術設計書 (TDR)』出版  
サイト評価結果発表 (北上サイトが最適)
- 2013～ 北上サイトを仮定した詳細設計が進行中

# まとめ

- 国際リニアコライダー (ILC) :  
次世代加速器研究施設
- 国際協力による設計（・建設・運用）
- 東北地方の北上山地が建設候補地
- 技術設計から実現へ向けた詳細設計が進行中
- 様々な機関による検討が進行中



えう、ご期待！！