

ILC概要説明

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

1. ILCプロジェクトの紹介

2. 計画の概要

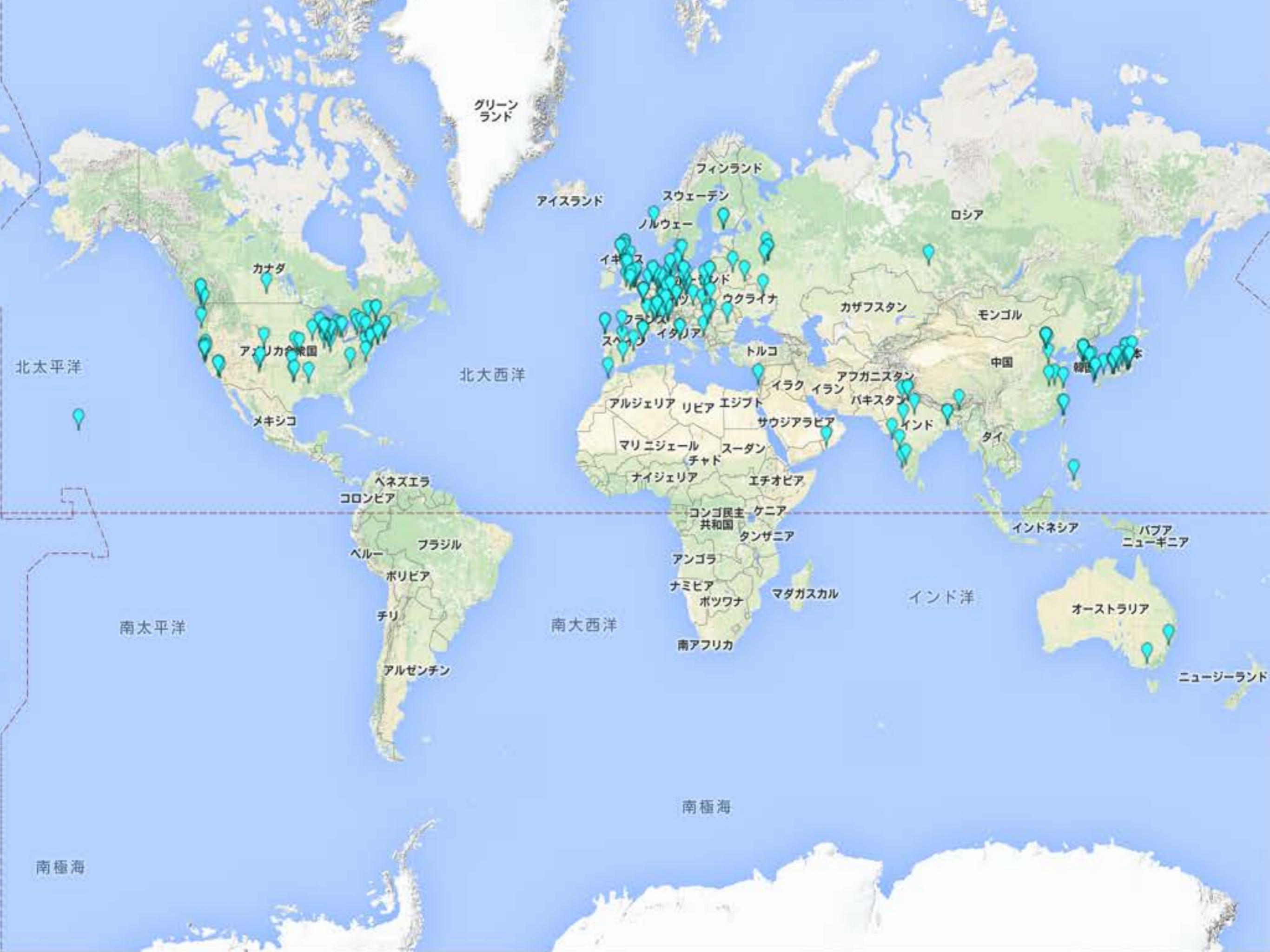
3. 地元大学の活動

4. 計画から実現へ

ILCプロジェクト

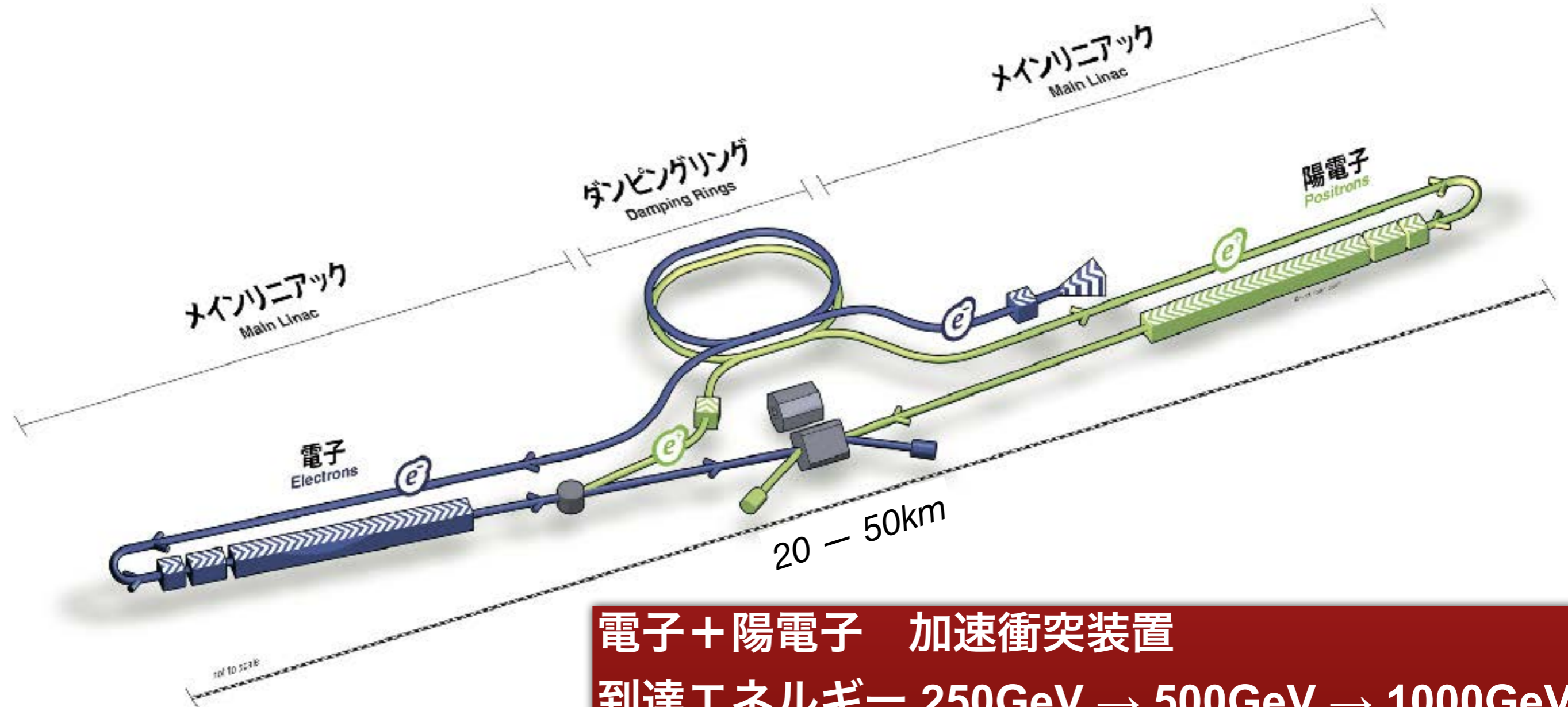
NEXT DEPARTURES
0514 EXTRA DIMENSIONS
3913 DARK MATTER
2319 HIGGS
421 DARK ENERGY
899 SUPERSYMMETRY
42 UNIFICATION
XXX UNKNOWN
68 QUANTUM UNIVERSE
ALL SCIENCE

International Linear Collider (ILC)



ILC

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



電子 + 陽電子 加速衝突装置

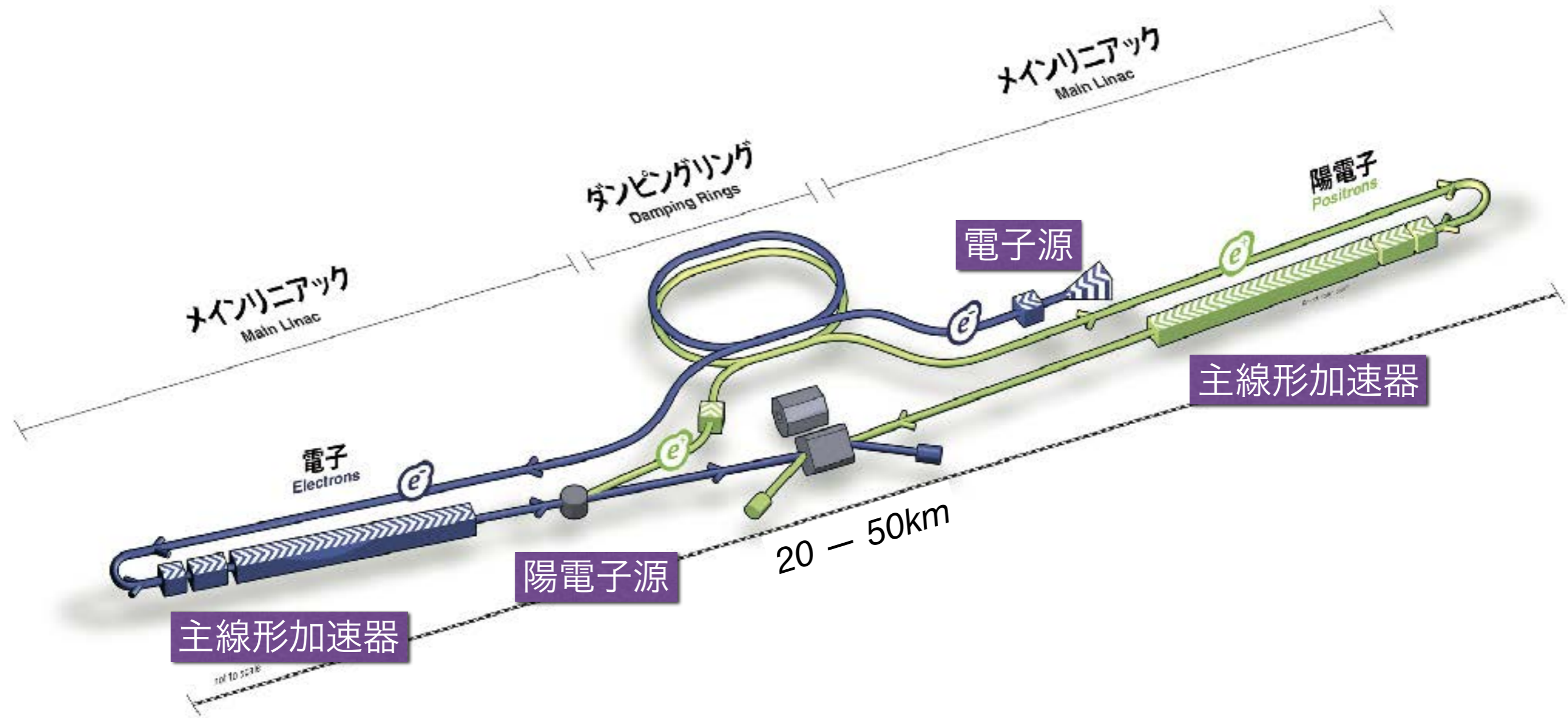
到達エネルギー 250GeV → 500GeV → 1000GeV

全長 20km → 50km

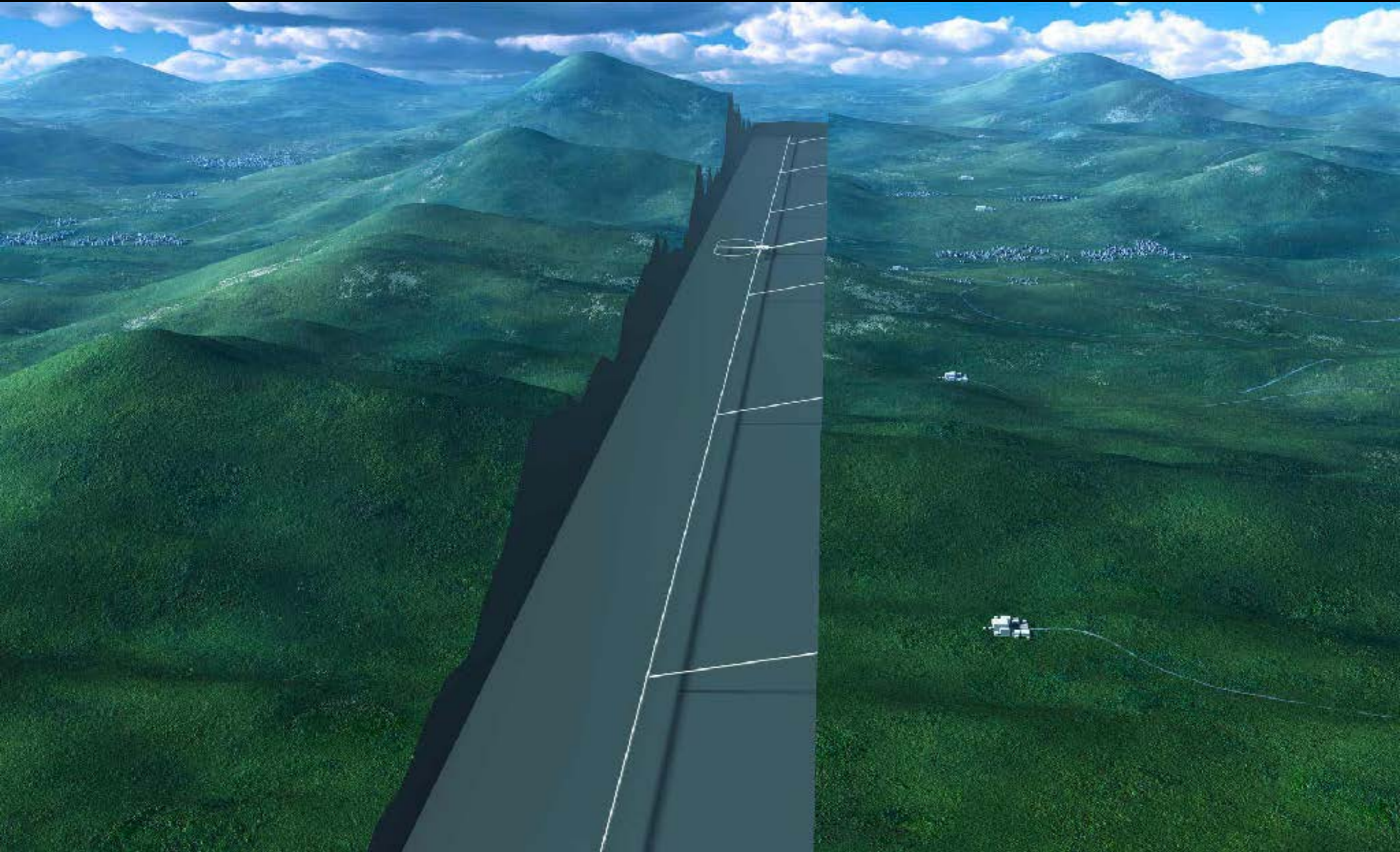
北上山地 (岩手県~宮城県)

ILC

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



ILC完成予想図



ILC完成予想図

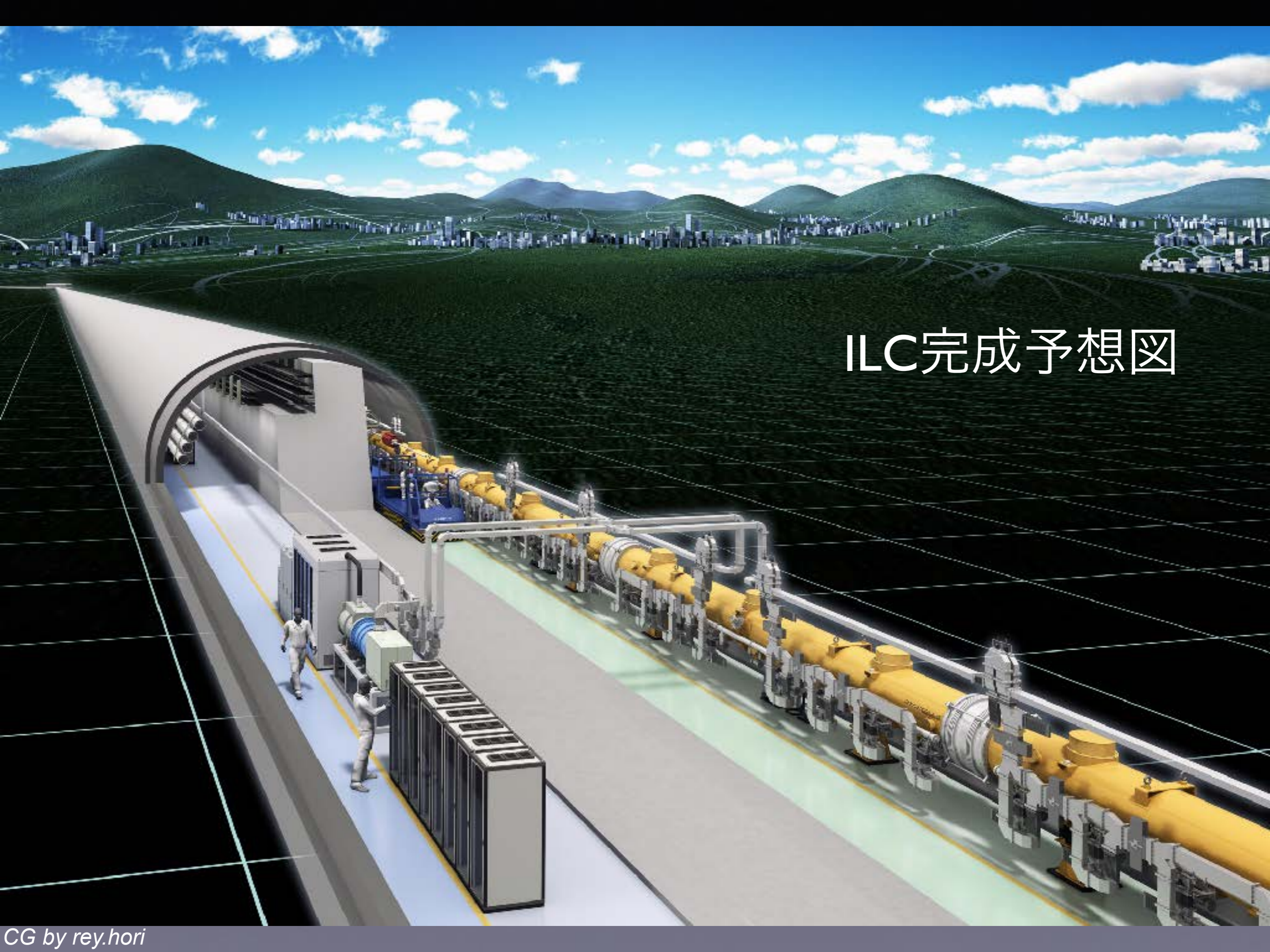


Table 2.1. Summary table of the 200–500 GeV baseline parameters for the ILC. The reported luminosity numbers are results of simulation [12]

Centre-of-mass energy	E_{CM}	GeV	200	230	250	350	500
Luminosity pulse repetition rate		Hz	5	5	5	5	5
Positron production mode			10 Hz	10 Hz	10 Hz	nom.	nom.
Estimated AC power	P_{AC}	MW	114	119	122	121	163
Bunch population	N	$\times 10^{10}$	2	2	2	2	2
Number of bunches	n_b		1312	1312	1312	1312	1312
Linac bunch interval	Δt_b	ns	554	554	554	554	554
RMS bunch length	σ_z	μm	300	300	300	300	300
Normalized horizontal emittance at IP	$\gamma\epsilon_x$	μm	10	10	10	10	10
Normalized vertical emittance at IP	$\gamma\epsilon_y$	nm	35	35	35	35	35
Horizontal beta function at IP	β_x^*	mm	16	14	13	16	11
Vertical beta function at IP	β_y^*	mm	0.34	0.38	0.41	0.34	0.48
RMS horizontal beam size at IP	σ_x^*	nm	904	789	729	684	474
RMS vertical beam size at IP	σ_y^*	nm	7.8	7.7	7.7	5.9	5.9
Vertical disruption parameter	D_y		24.3	24.5	24.5	24.3	24.6
Fractional RMS energy loss to beamstrahlung	δ_{BS}	%	0.65	0.83	0.97	1.9	4.5
Luminosity	L	$\times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	0.56	0.67	0.75	1.0	1.8
Fraction of L in top 1% E_{CM}	$L_{0.01}$	%	91	89	87	77	58
Electron polarisation	P_-	%	80	80	80	80	80
Positron polarisation	P_+	%	30	30	30	30	30
Electron relative energy spread at IP	$\Delta p/p$	%	0.20	0.19	0.19	0.16	0.13
Positron relative energy spread at IP	$\Delta p/p$	%	0.19	0.17	0.15	0.10	0.07

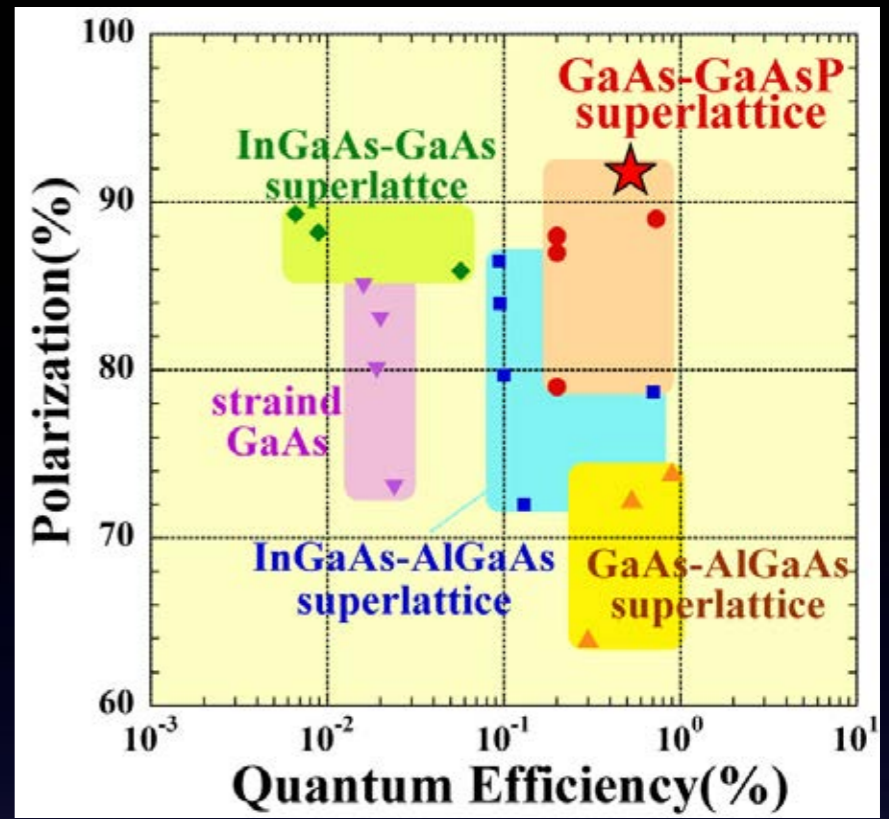
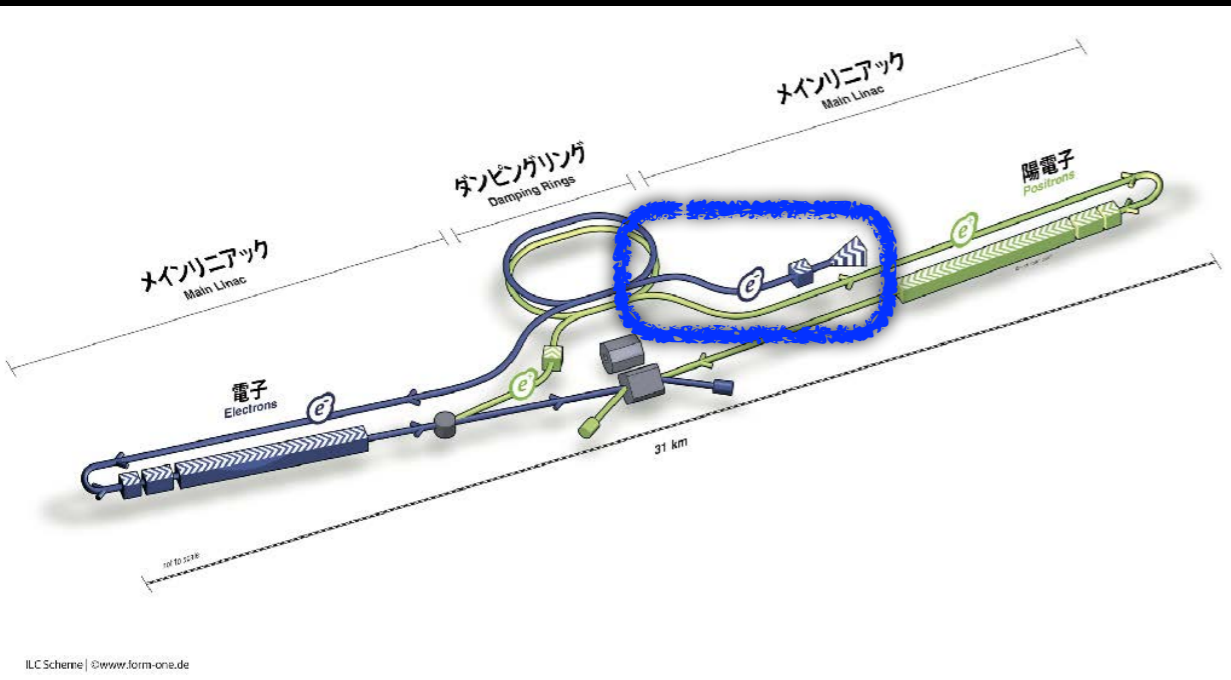
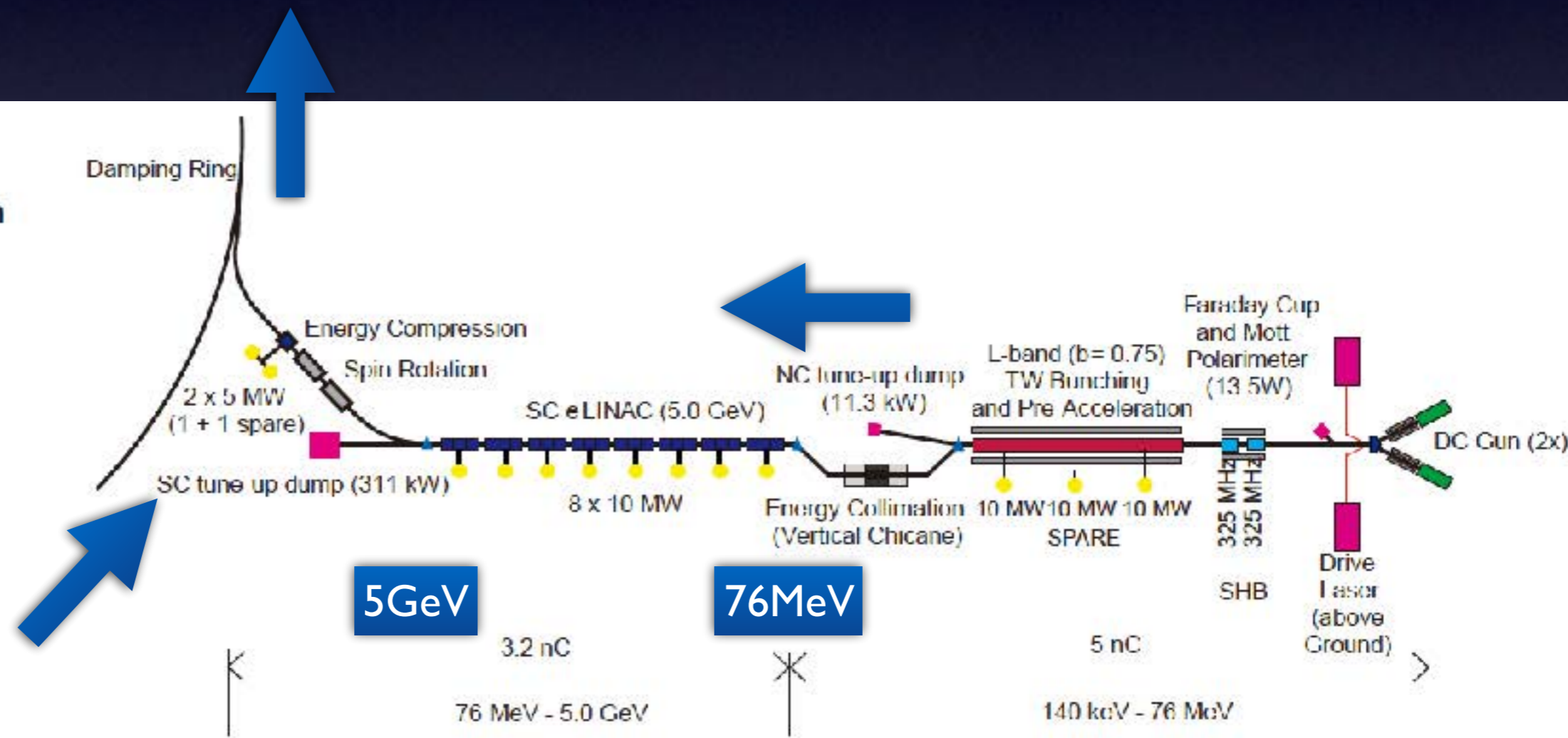
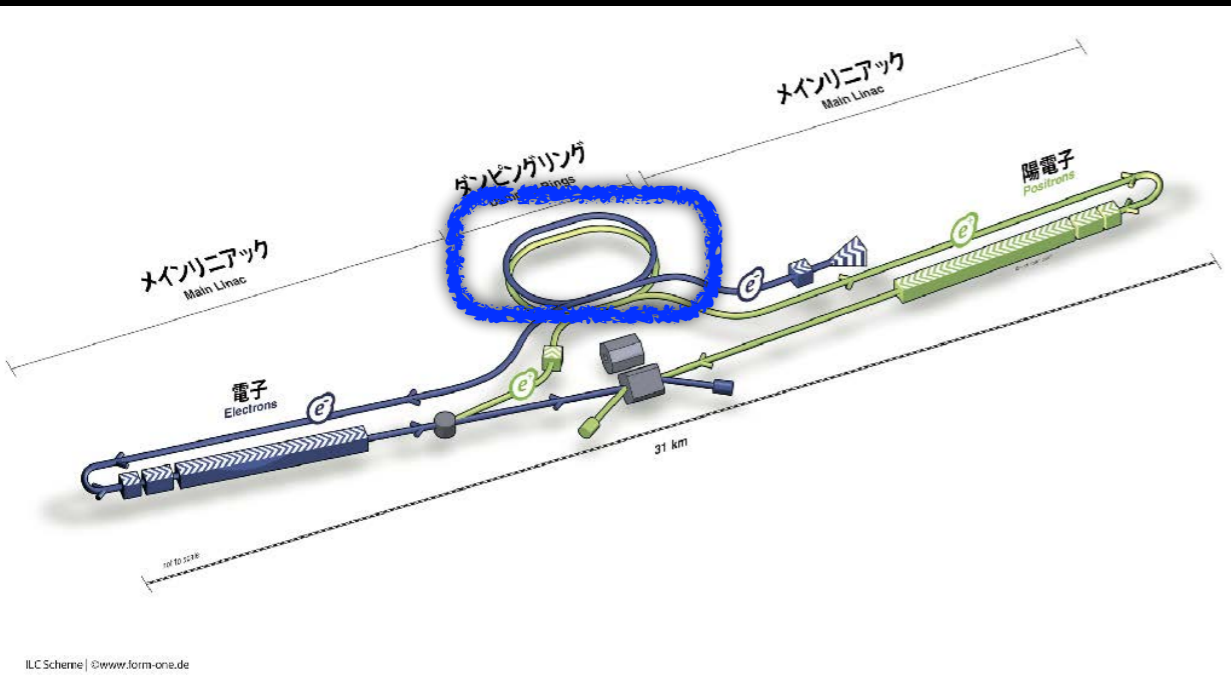


Figure 4.1
Schematic view of
the polarized Electron
Source.





ILC Scheme | ©www.forn-one.de

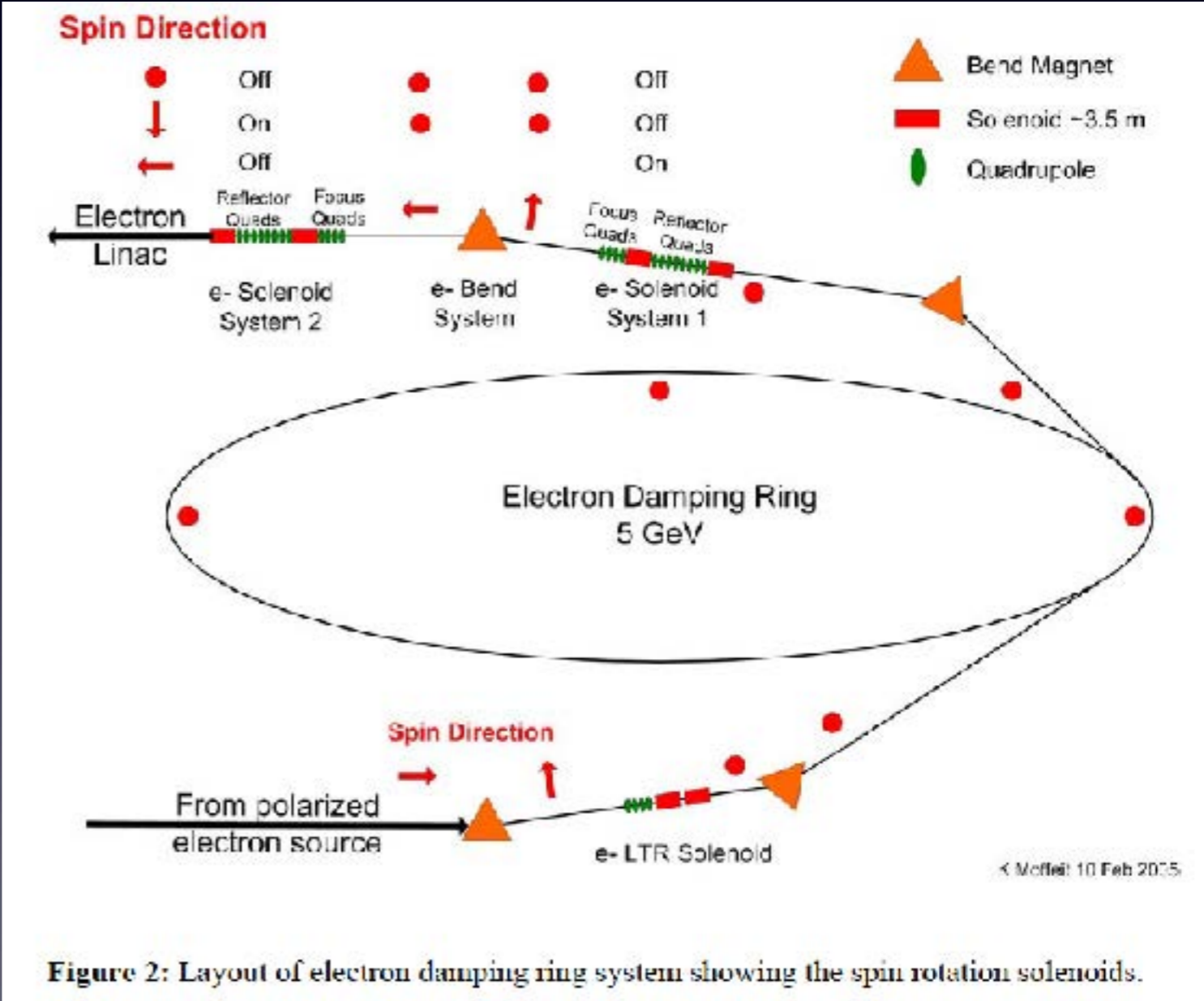


Figure 2: Layout of electron damping ring system showing the spin rotation solenoids.

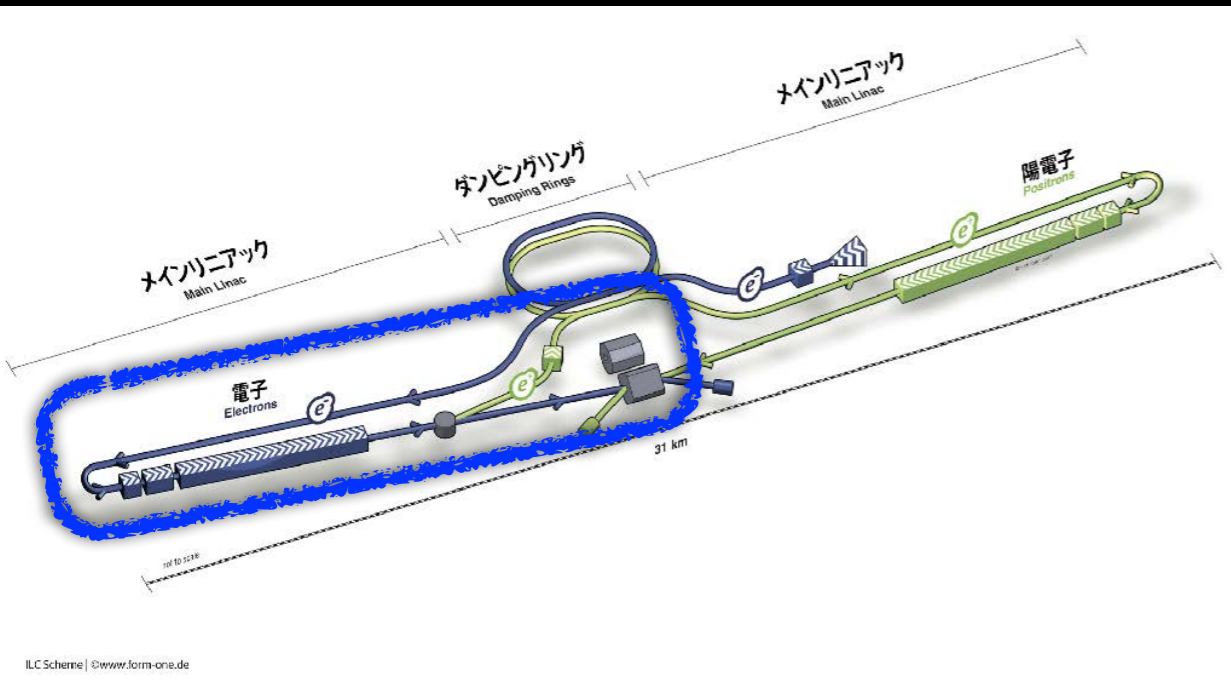
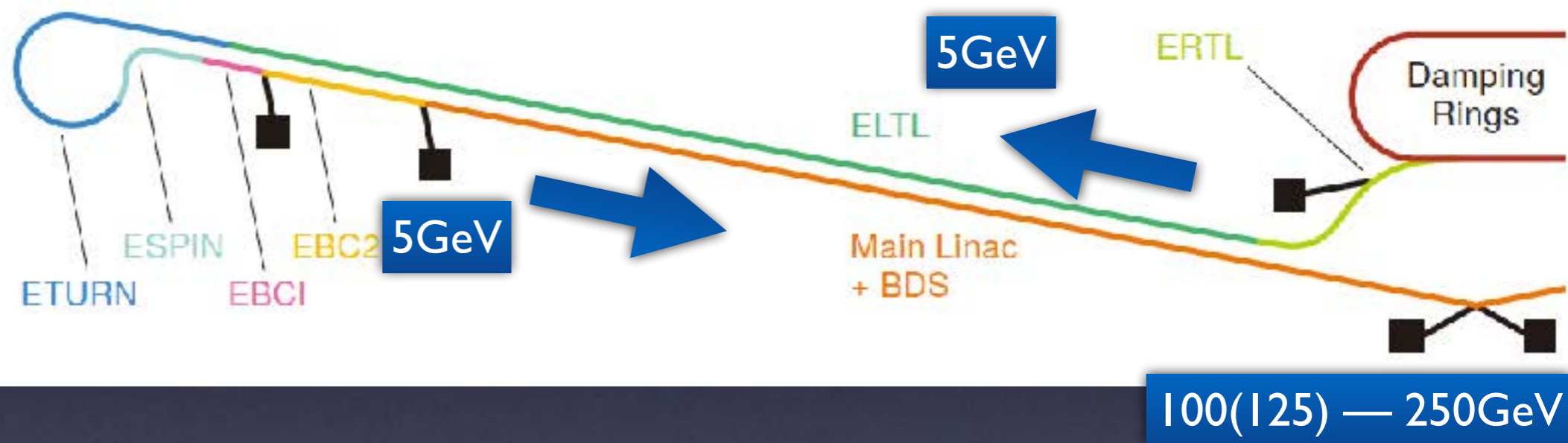
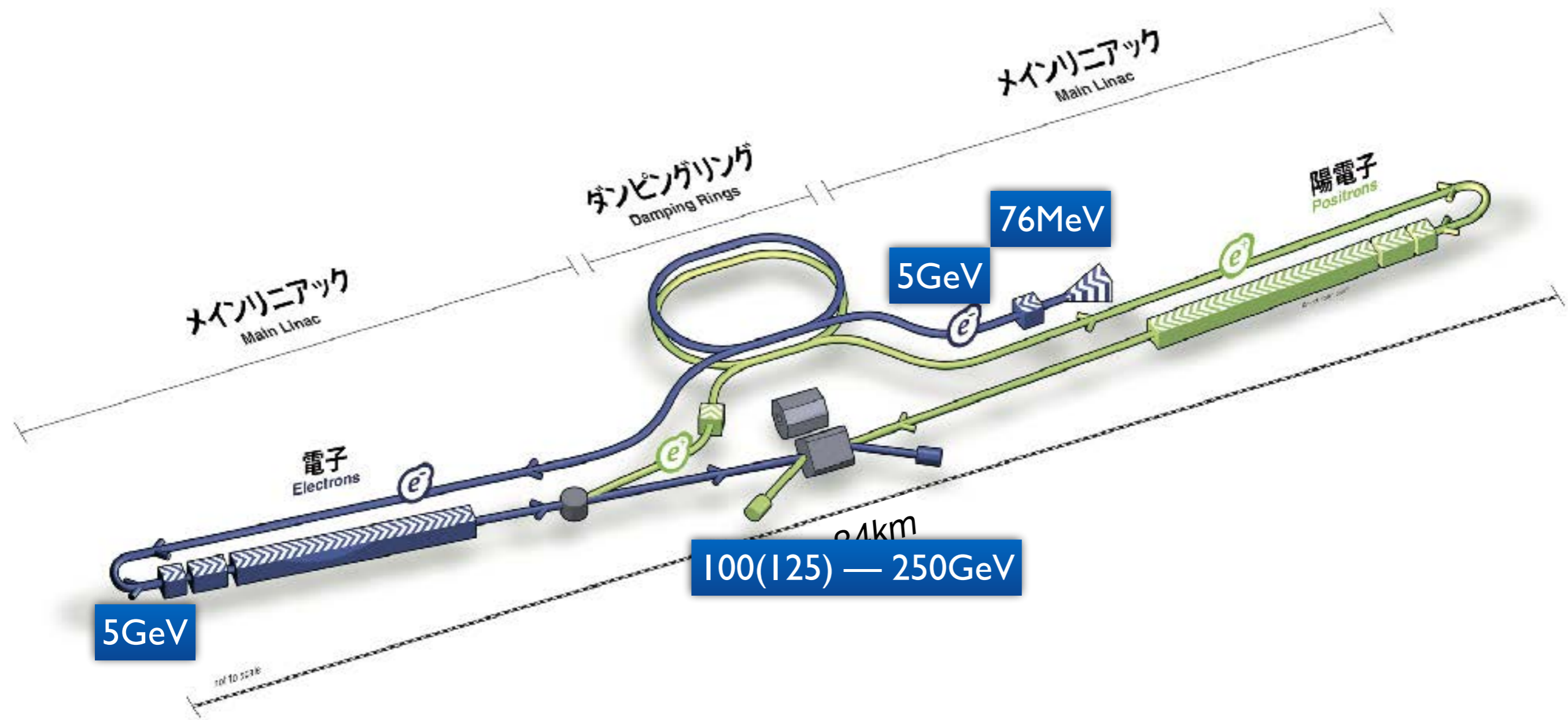


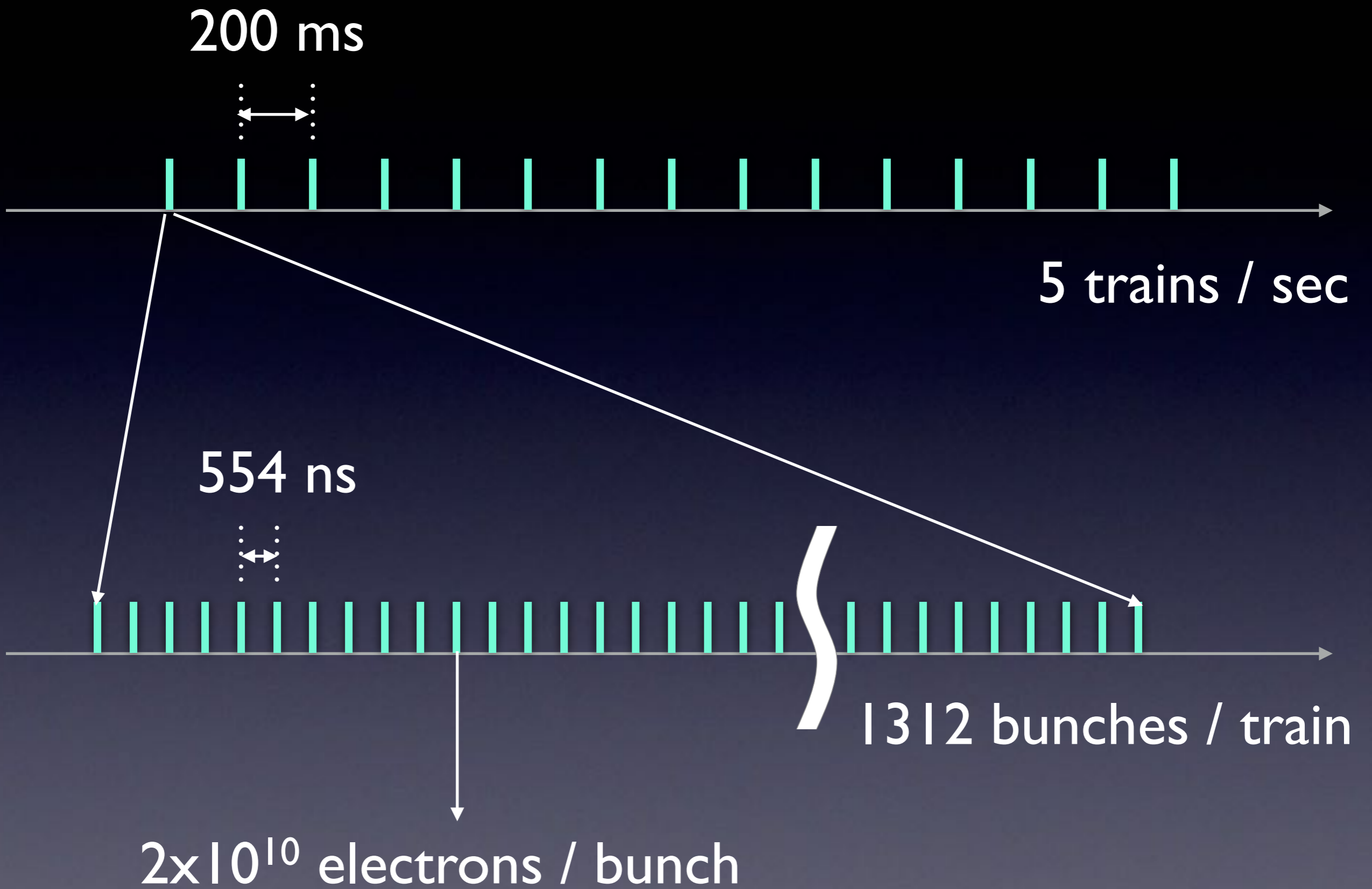
Figure 7.1
Schematic of the RTML, indicating the various functions described in the text.



ILC



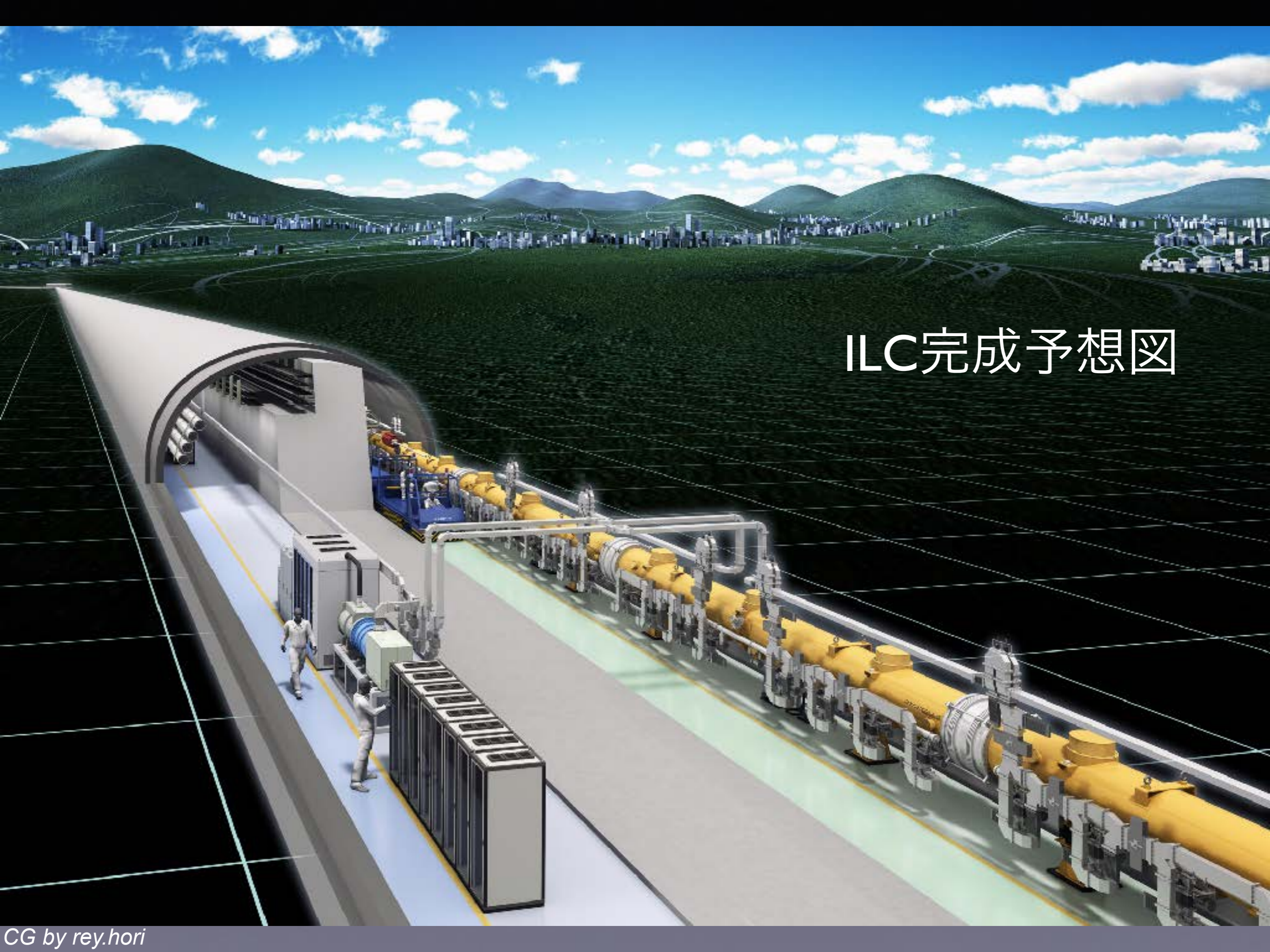
- 上に示したいずれのエネルギーでもbunch 構造（次頁）は変わらない
- ダンピングリング内のbanch間隔は6nsec



ILC 加速器 開発研究

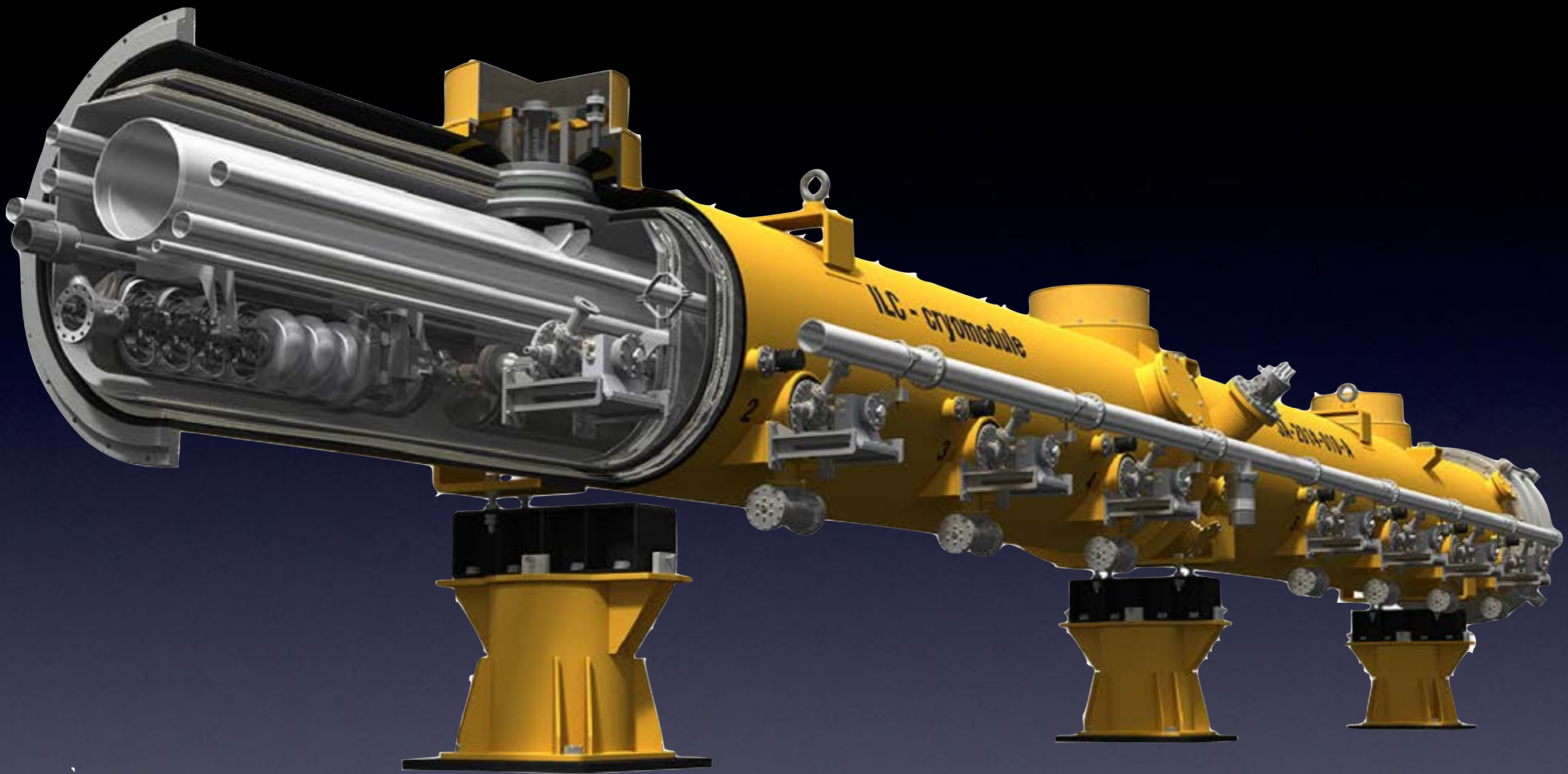
- 瞬く間に加速する
 - STF, XFEL, SCSL-II 等の施設
- ビームを細く絞り込んで正面衝突させる
 - ATF2

ILC完成予想図



KEK-STF





加速に用いる超伝導空洞



目標 35MV/m (運転時31.5MV/m)

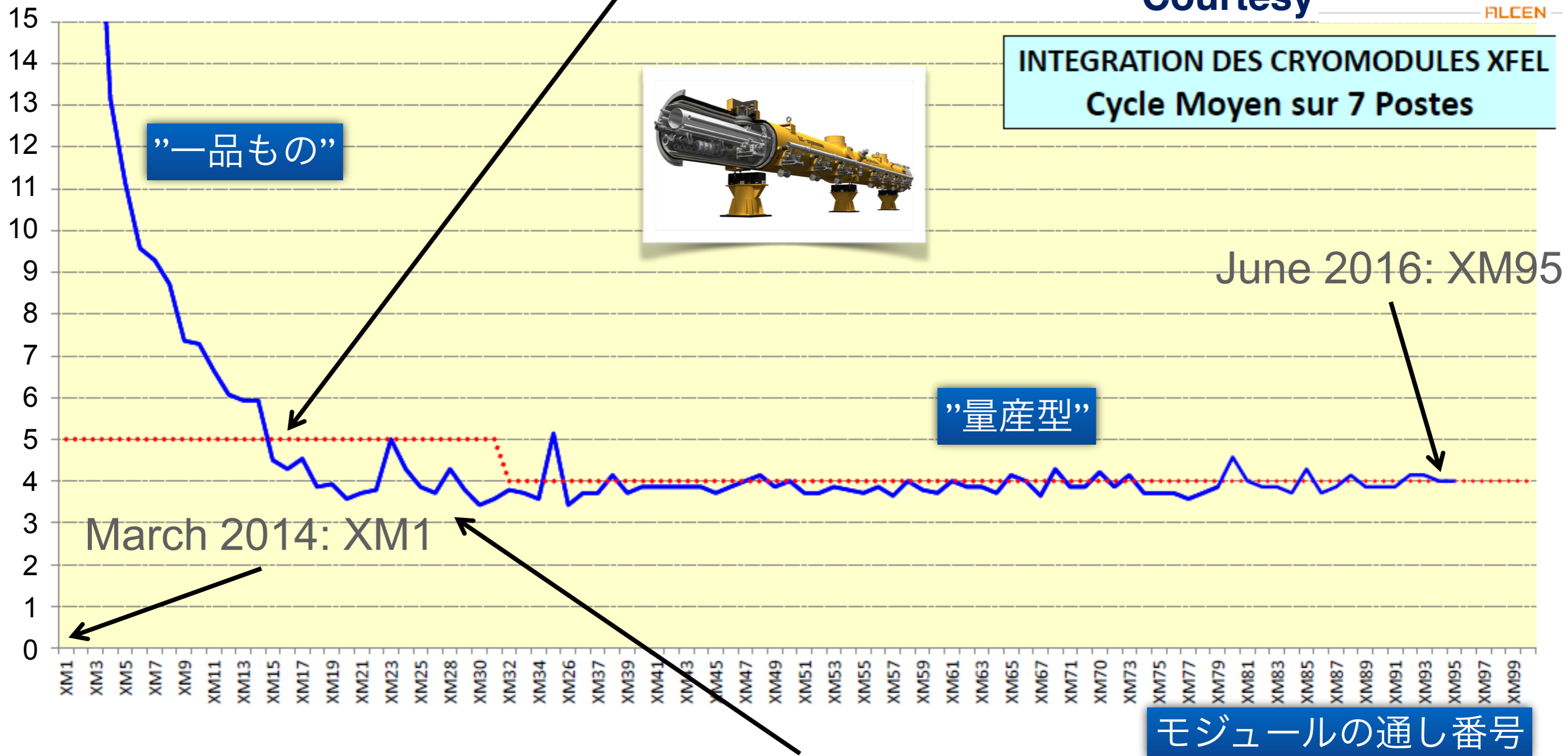


全長2.1km, 800 Cavities, 100 modules, $E=17.5\text{GeV}$

Production Throughput

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

Courtesy **ALSYOM**
ALCEN



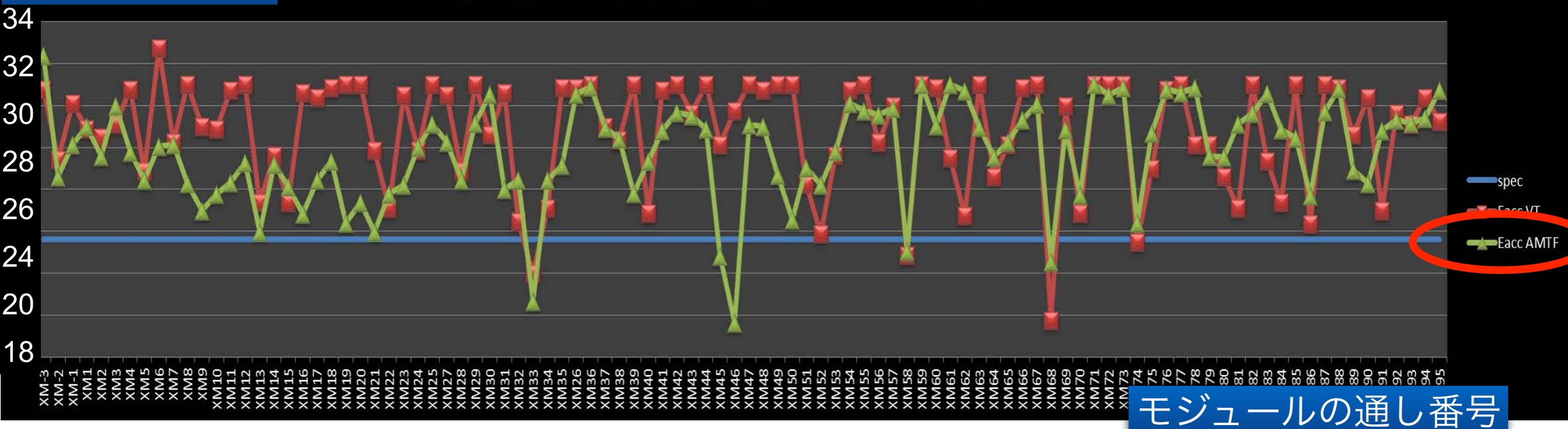
- 4-day throughput was reached **in January 2015** with **XM25**

Cryomodule Performance at AMTF

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

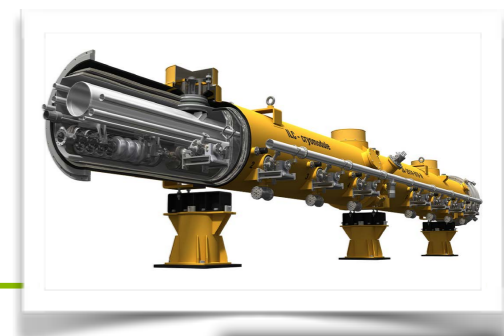
加速勾配(MV/m)

Average RF gradient (MV/m) for tailored RF distribution/individual cavities

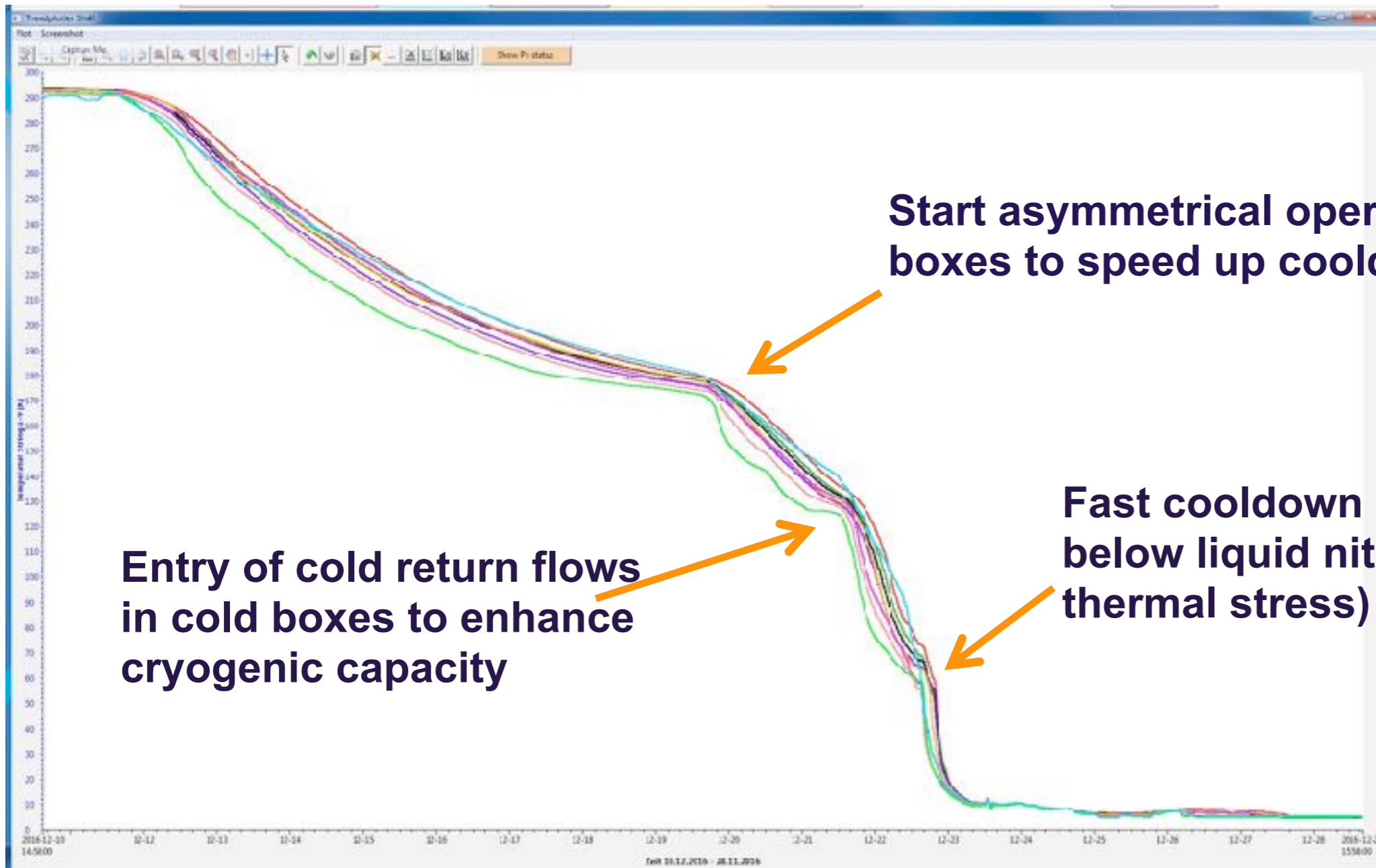


モジュールの通し番号

- AMTF average gradient is 18% above specs : $\langle E_{acc} \rangle = 27.9 \text{ MV/m}$.
- All but 5 of 98 tested modules are on XFEL specs (23.6 MV/m):
 - XM33, XM58 and XM68 are limited by individual cavity performance
 - XM45 was impacted by a clean room power outage
 - XM46 was impacted by beam vacuum leaks



First Cooldown of XFEL Linac (300K to 4K)



Start asymmetrical operation of two cold boxes to speed up cooldown

Entry of cold return flows in cold boxes to enhance cryogenic capacity

Fast cooldown at temperatures below liquid nitrogen (no more thermal stress)

10.12.2016

24.12.2016



■ **No Cold Leaks!!!**

NEWS, 19 APRIL 2017

Particle accelerator for the European XFEL X-ray laser operational

World's longest superconducting linear accelerator

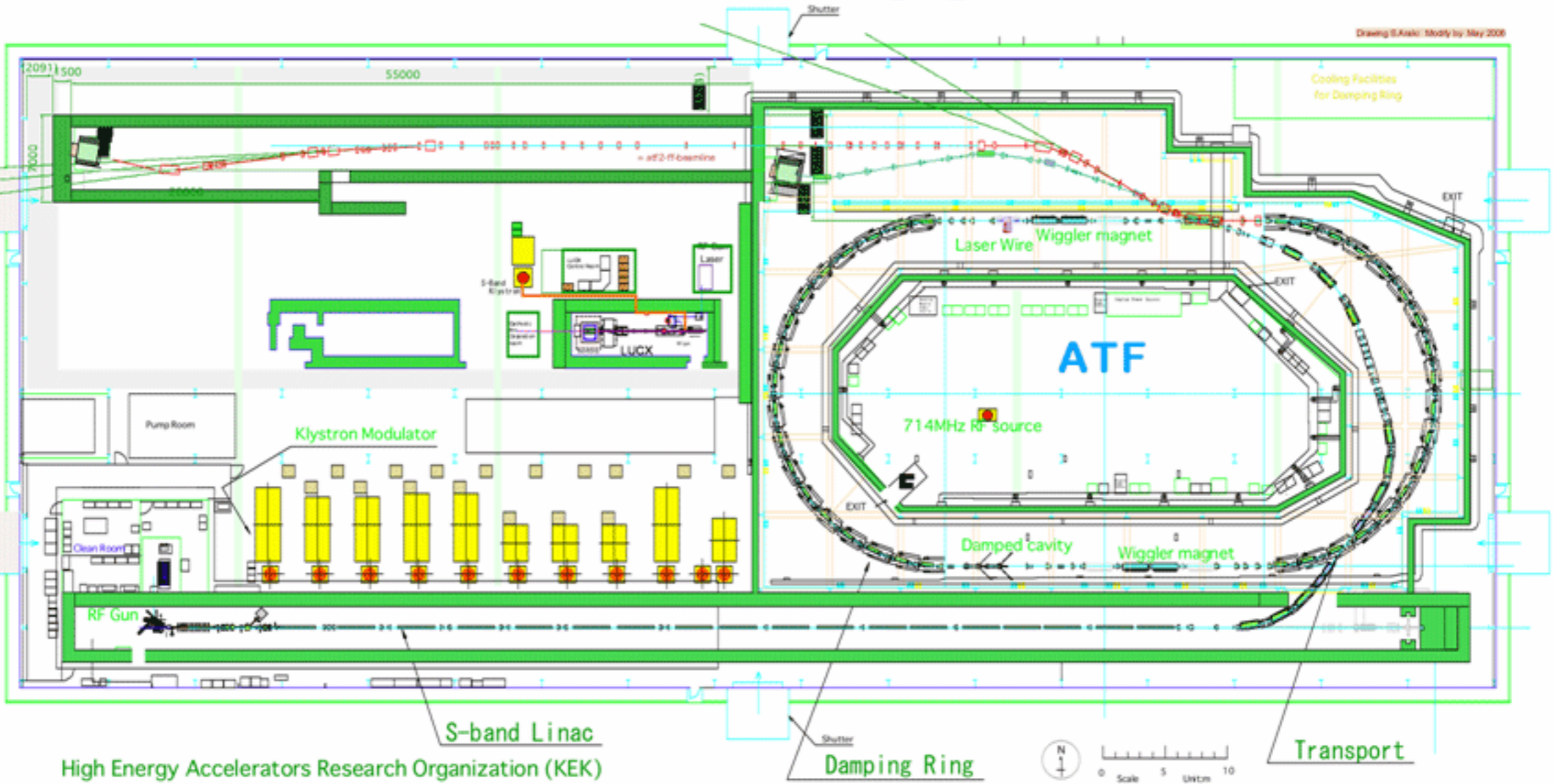
The international X-ray laser European XFEL has reached one of its final major milestones on the way to scientific user operation. DESY has successfully commissioned the particle accelerator, which drives the X-ray laser along its full length.

Accelerated electrons have passed through the complete 2.1 kilometre length of the accelerator tunnel. In the next step, the energy of the electrons will be raised further, before they will be sent into a magnetic slalom section where the bright X-ray laser light will be generated. This first lasing is planned for May. DESY is the largest shareholder of the European XFEL and is responsible for the construction and operation of the superconducting linear accelerator.

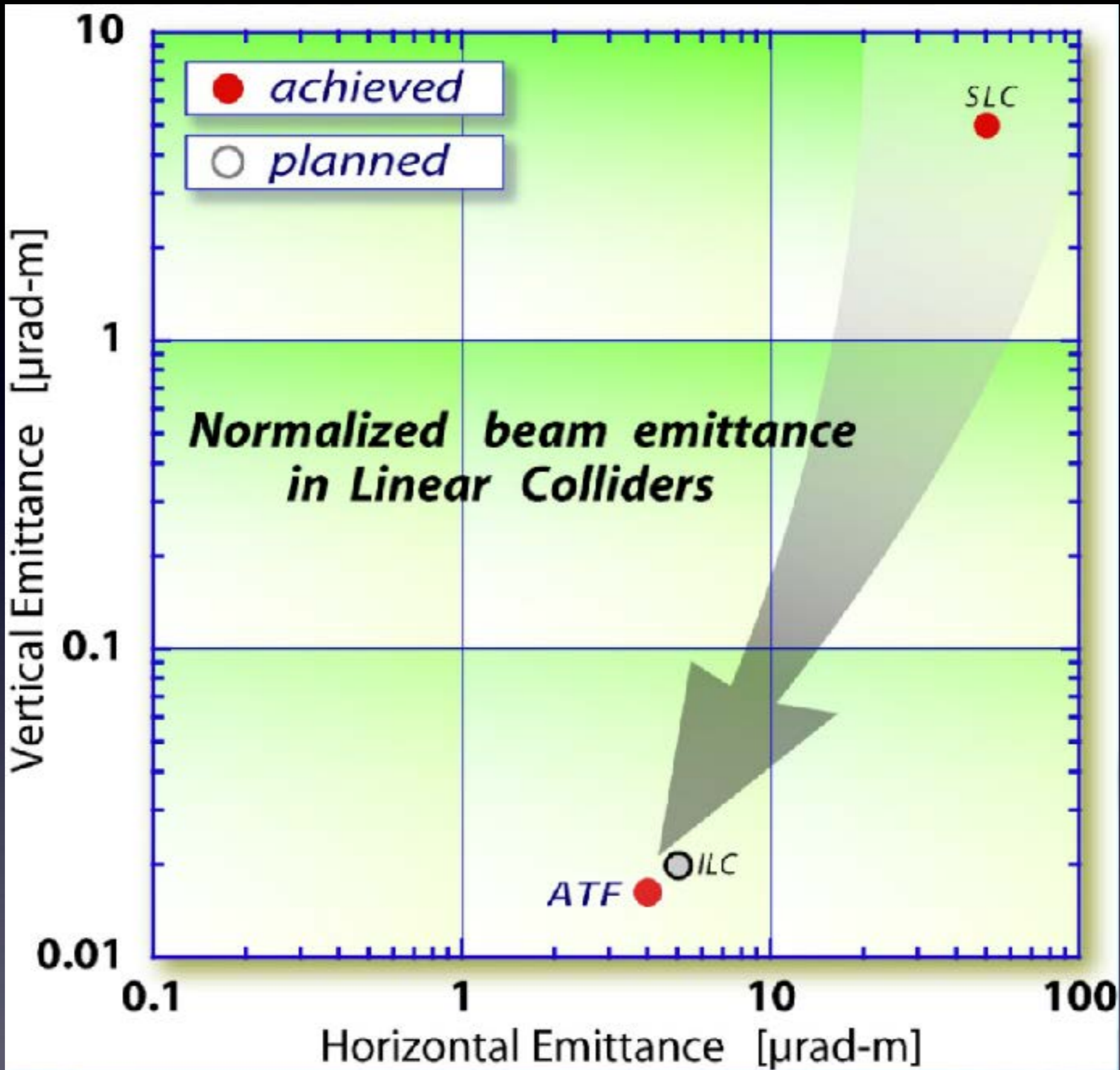
営業運転開始 ($E_{\text{beam}}=12\text{GeV}$)

KEK-ATF/ATF2

ATF2 LAYOUT



縦方向の”広がり具合”

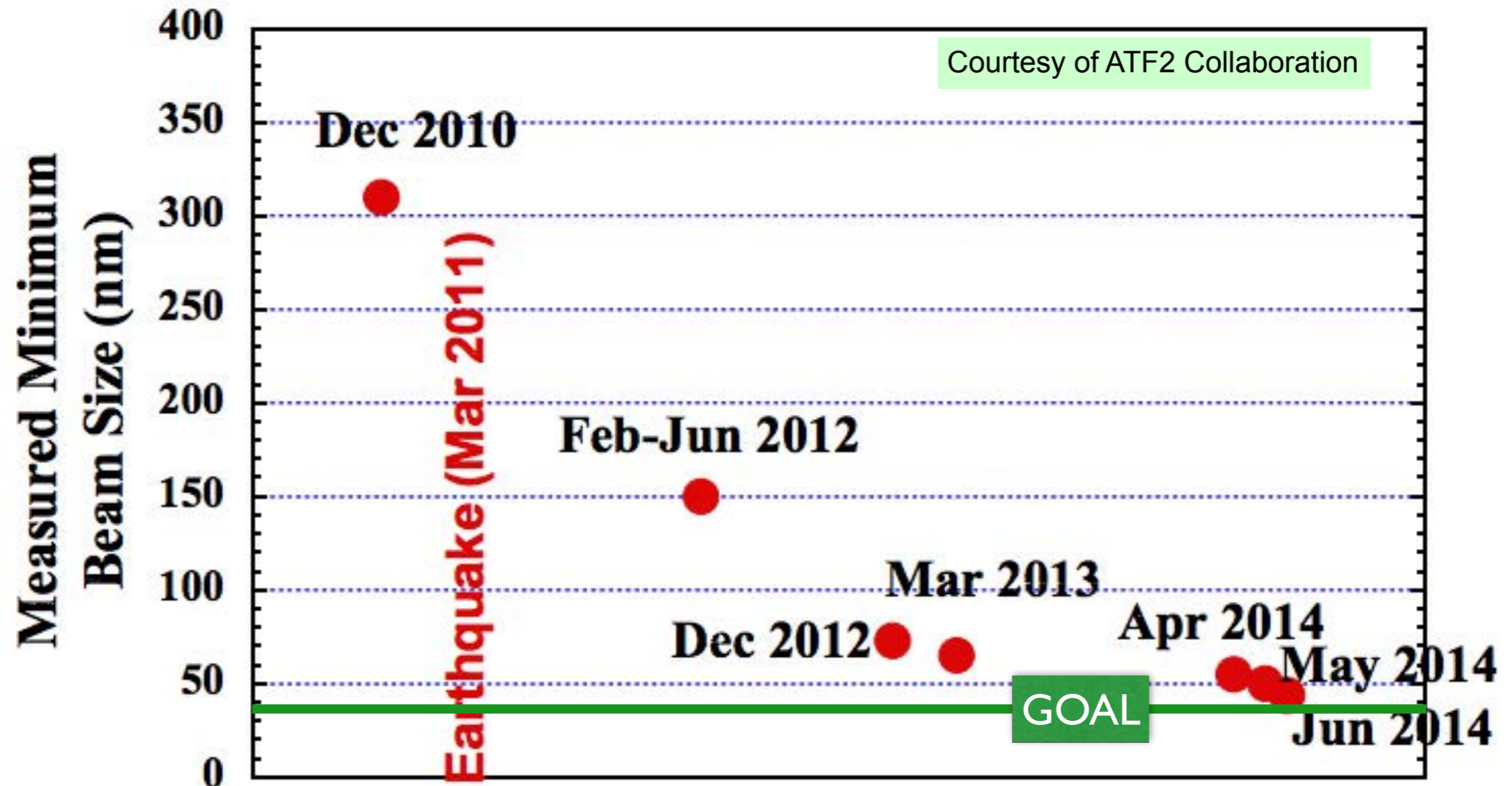


縦方向の”広がり具合”



Beam Delivery System Tests: ATF2 at KEK

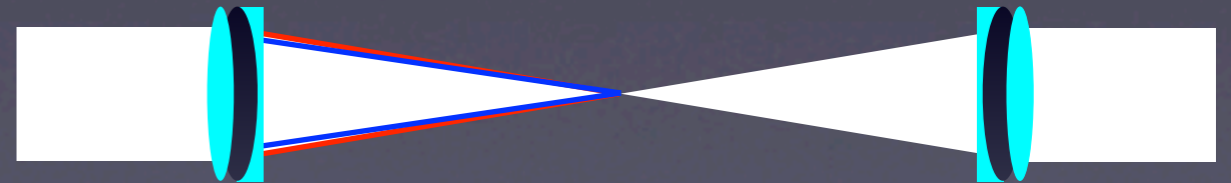
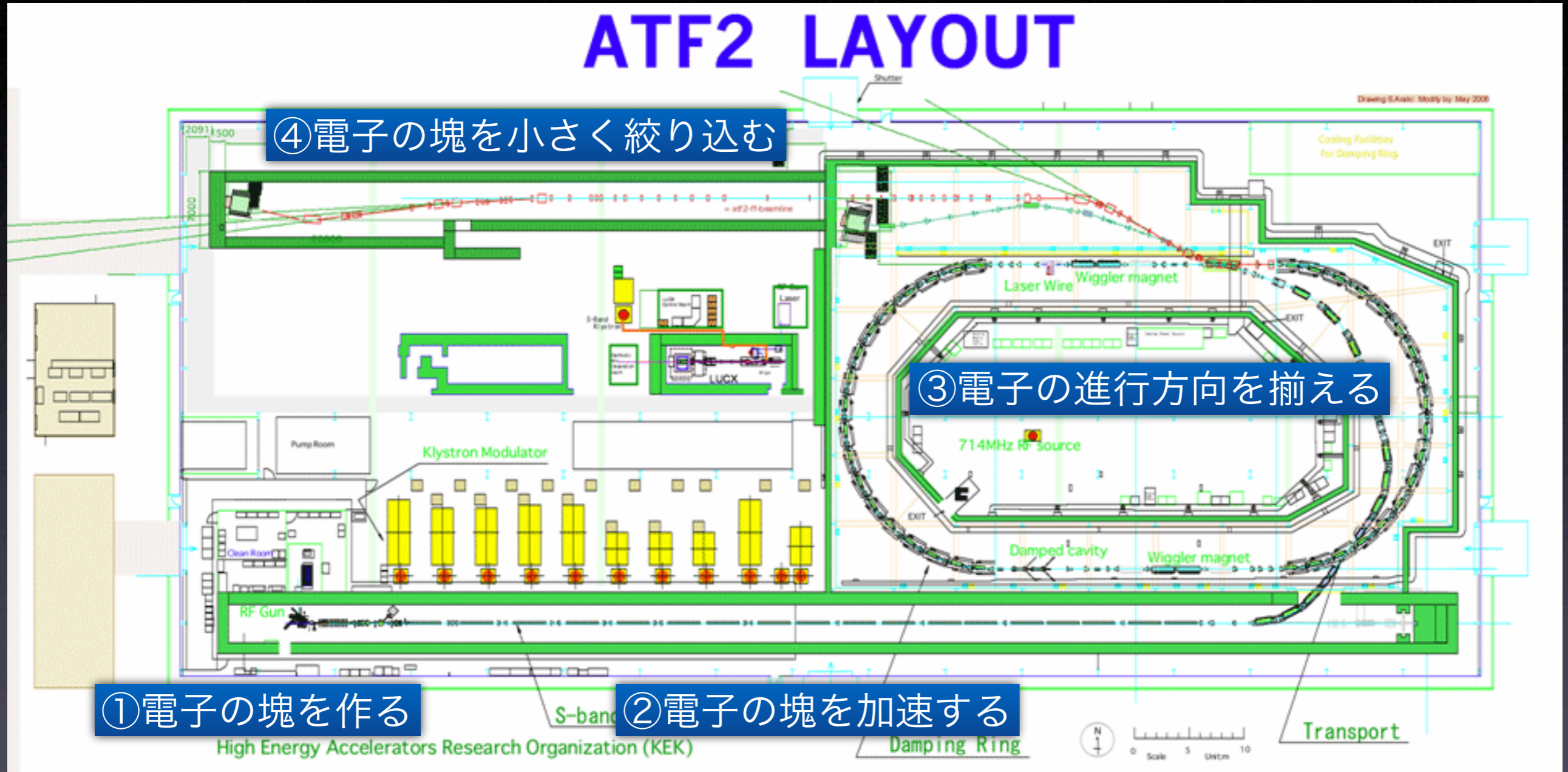
After a few years of operation it has achieved 44 nm at 10% of the nominal intensity.



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

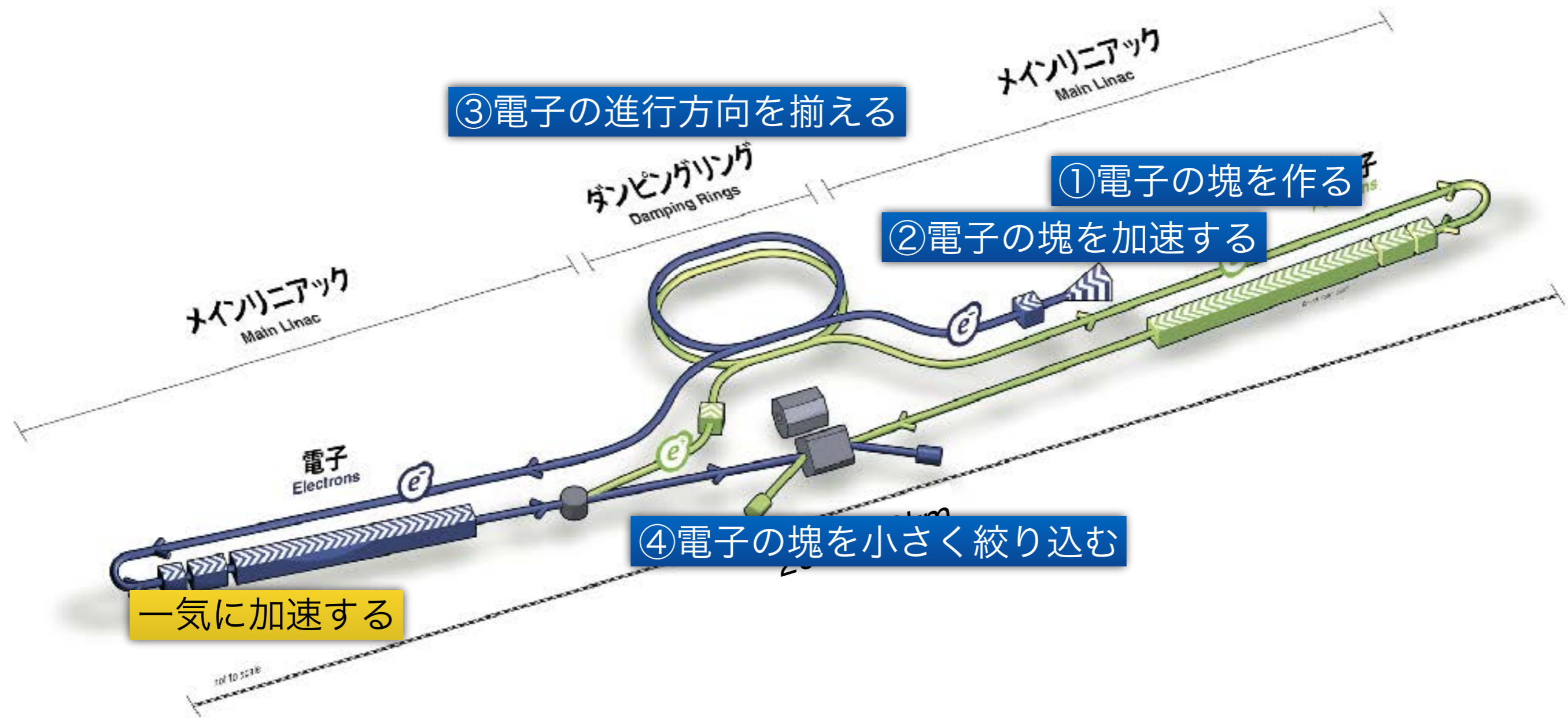
KEK-ATF/ATF2

ATF2 LAYOUT

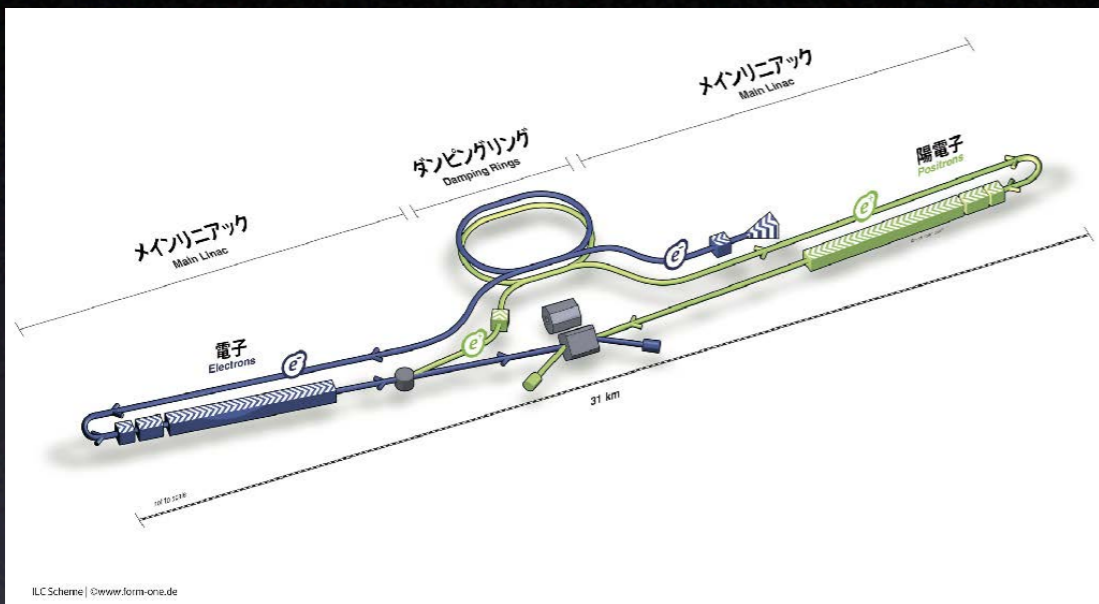


ILC

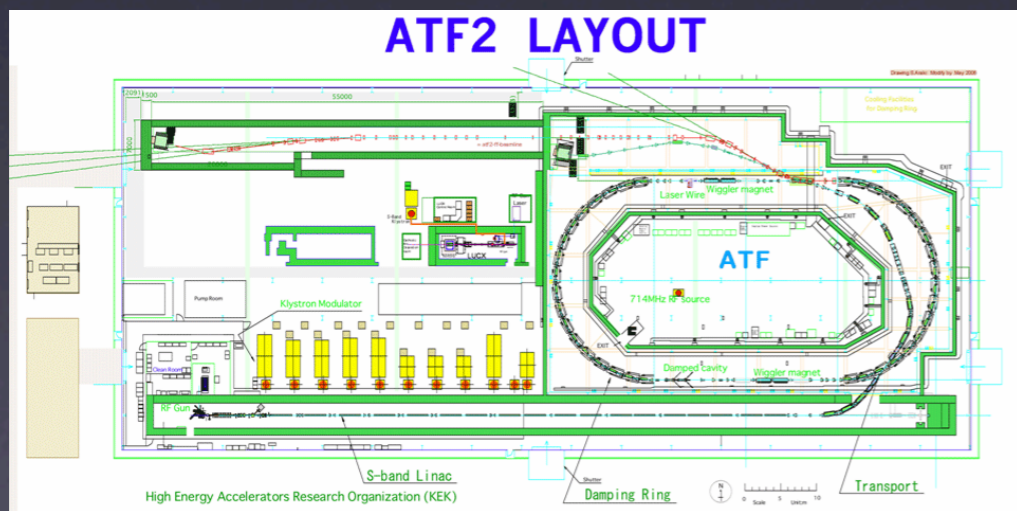
$$\Delta P_{SR} = -(E/m)^4 R^{-1}$$



ILC = ATF/ATF2 + XFEL x 10



=



+

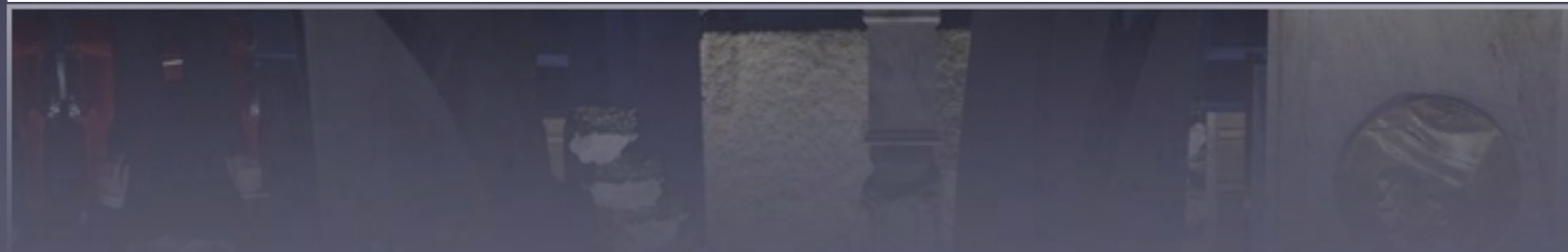


x 10

2012年7月のニュース

- ヒッグス粒子 (CERN の LHC 加速器)

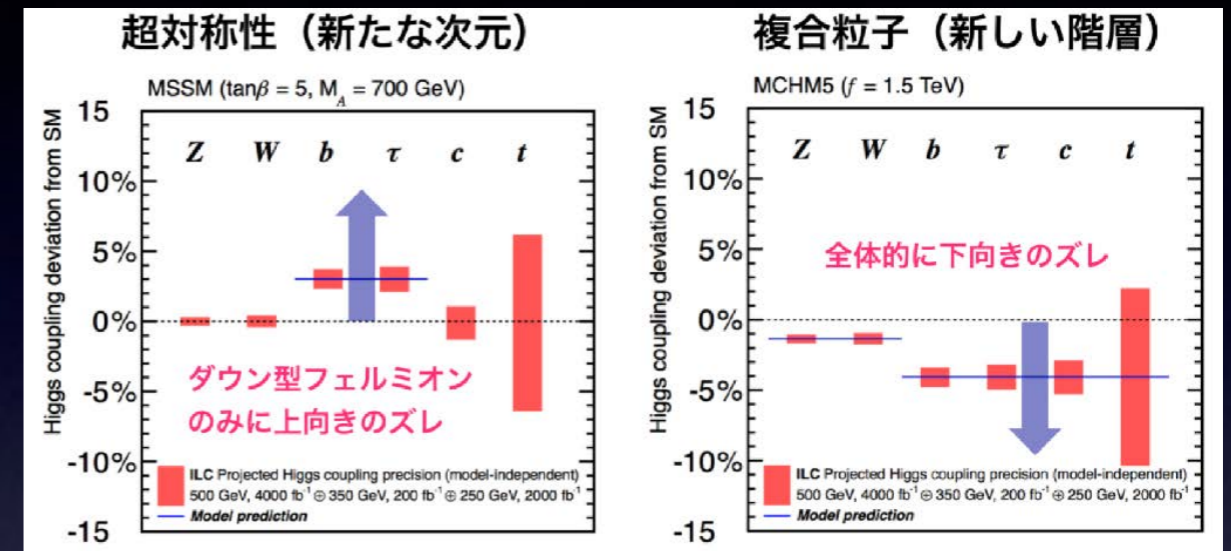




- 標準理論的なヒッグス粒子が存在した
- ヒッグス先生が導入した最もシンプルな機構が機能することがわかった
- だが、ヒッグスセクターは未知のまま
 - ヒッグス場の正体・個数
 - ヒッグスポテンシャルの構造
 - 電弱対象性の破れの背後にある物理

3つの可能性

- 「新たな次元」
 - スピン0, SUSY
- 「新しい階層」
 - ヒッグス粒子=複合粒子
- 「複数宇宙の存在」
 - 人間原理



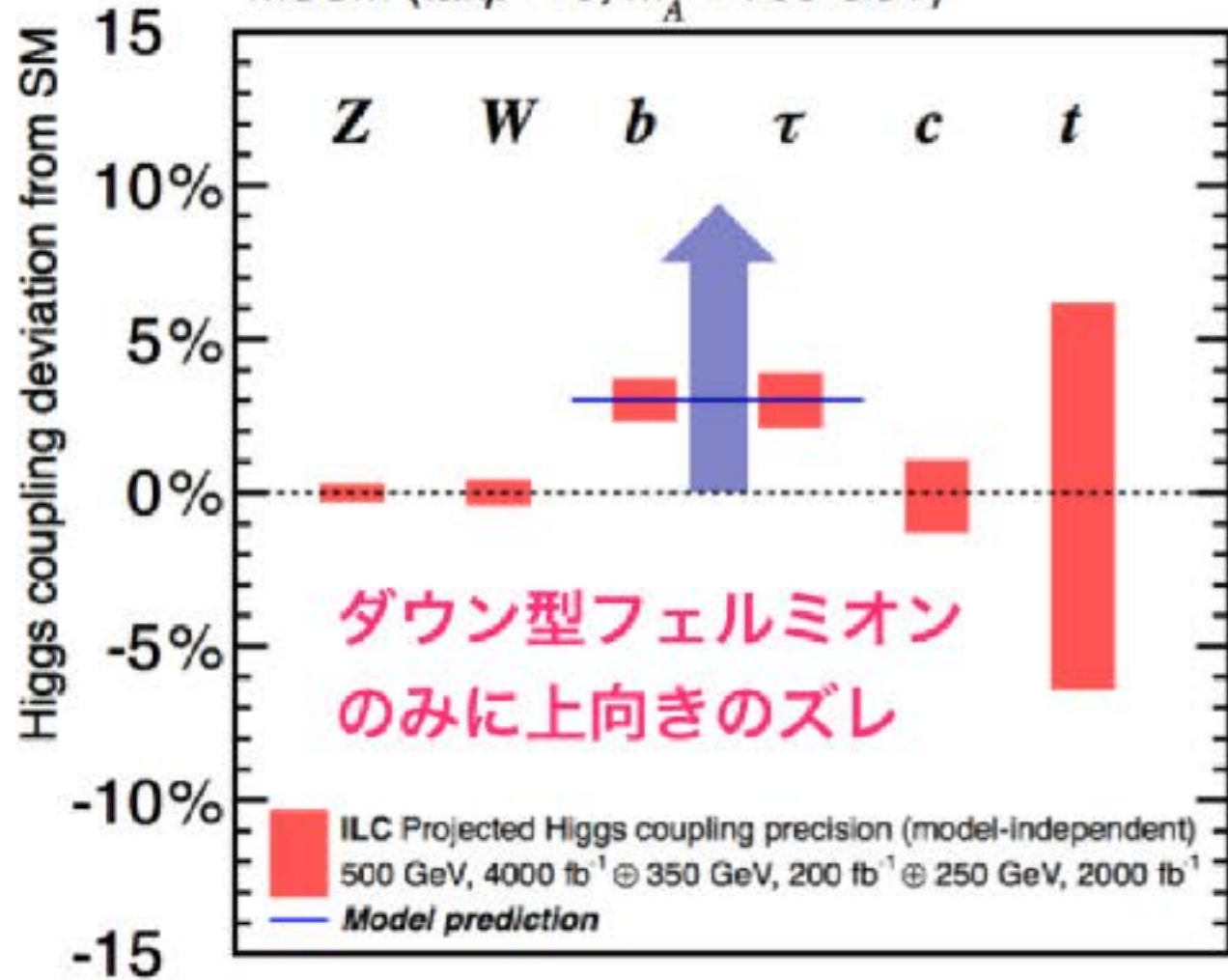
ILCは

今後50年かけて正しさを証明するべき方向を示す

ILCは道しるべ

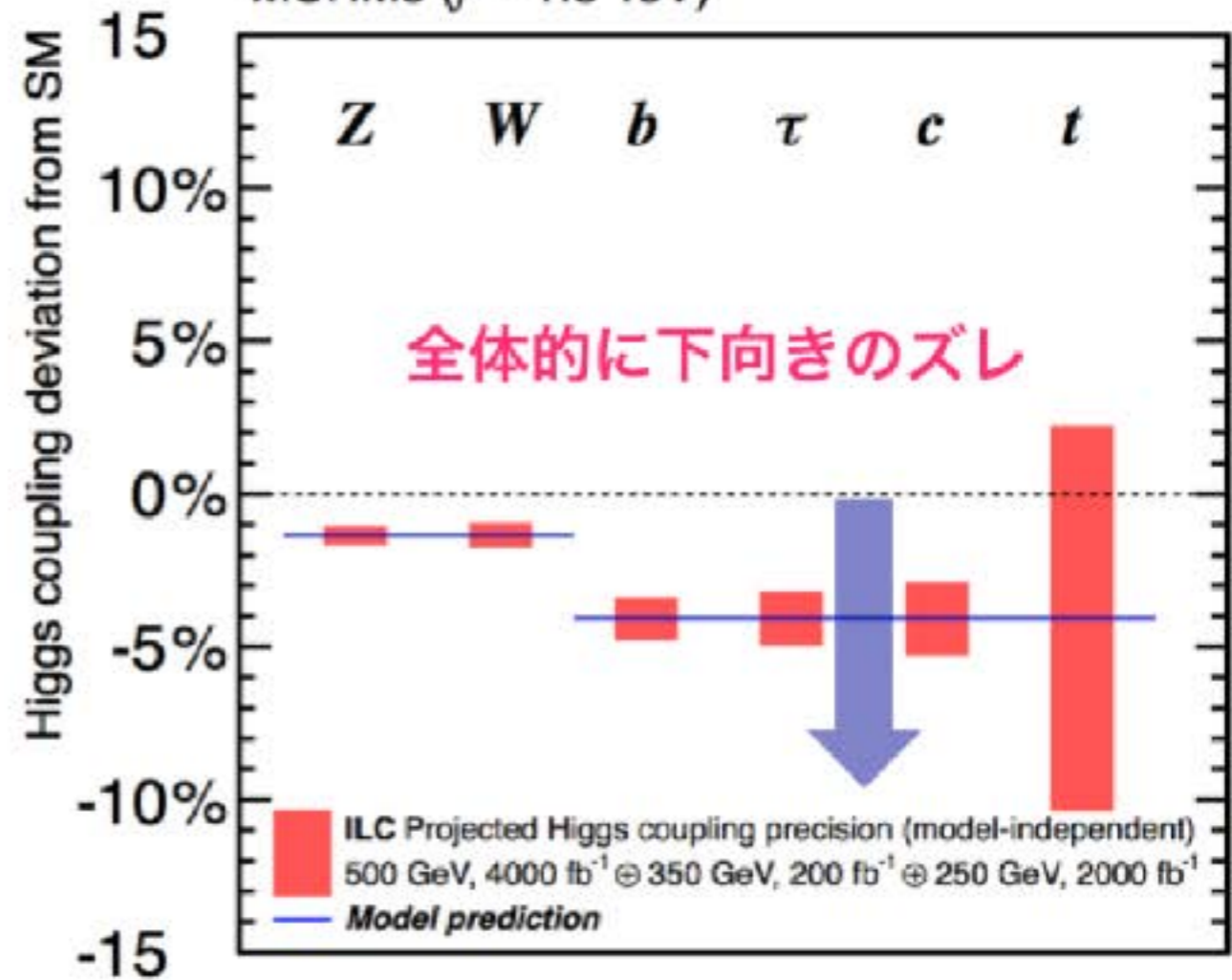
超対称性 (新たな次元)

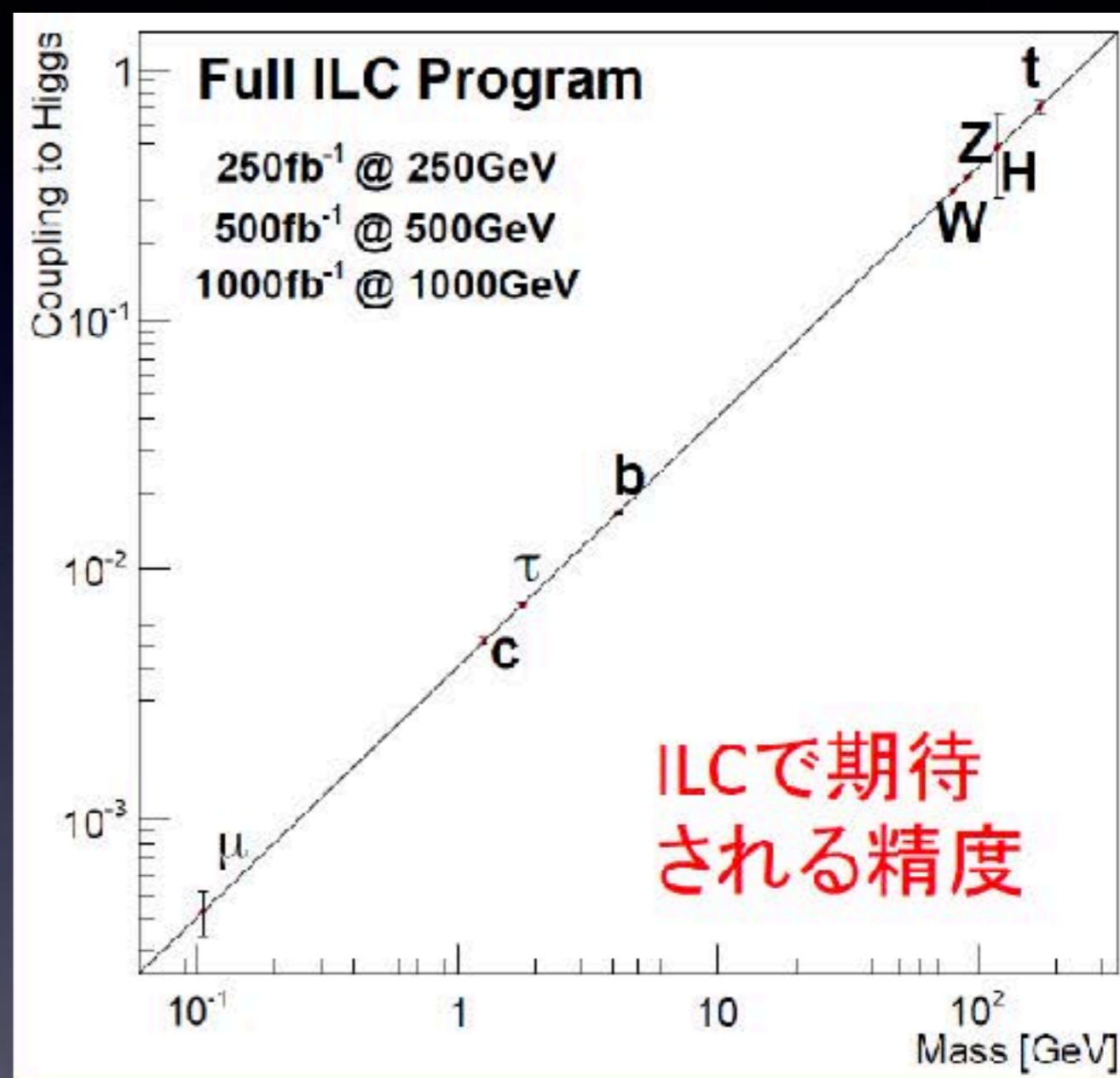
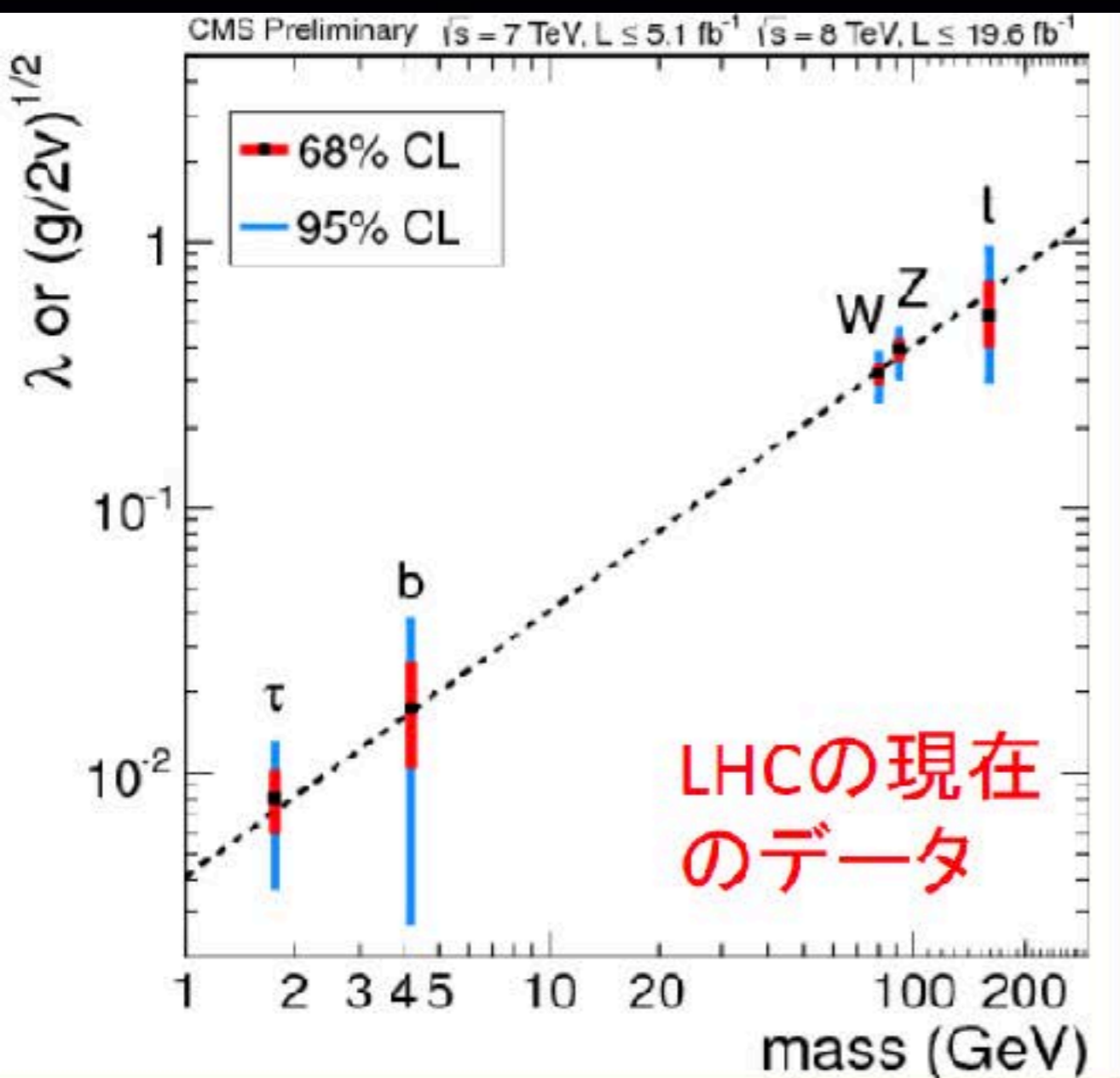
MSSM ($\tan\beta = 5, M_A = 700 \text{ GeV}$)



複合粒子 (新しい階層)

MCHM5 ($f = 1.5 \text{ TeV}$)





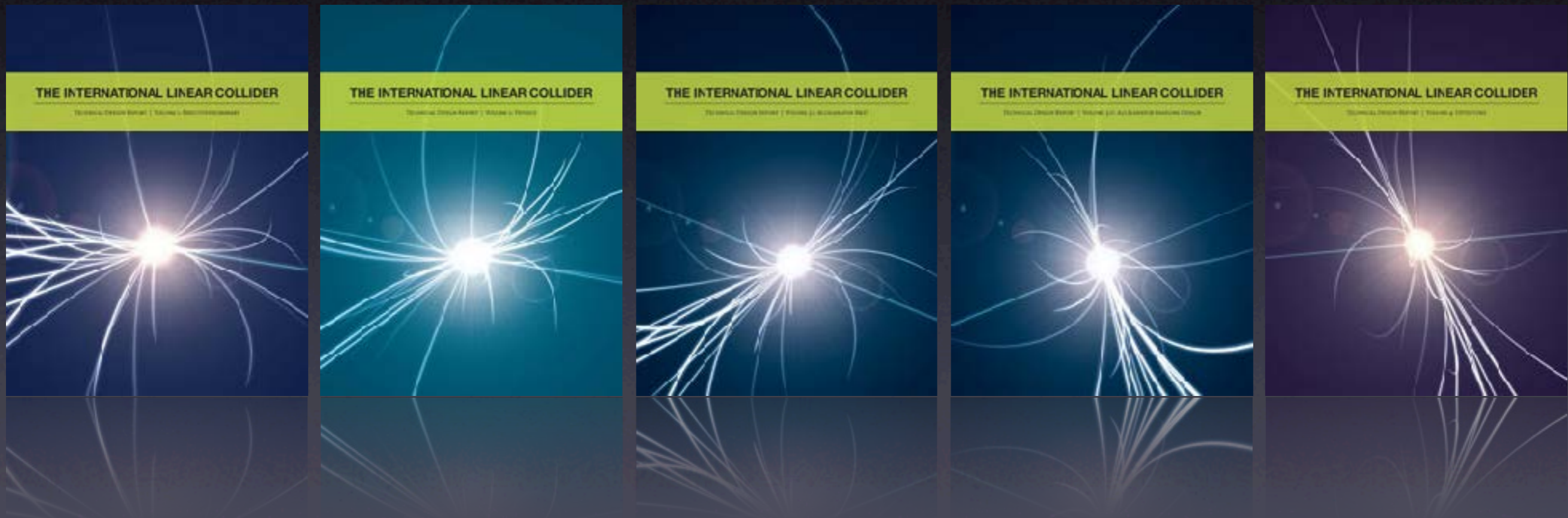
計画の概要

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)
- 2013～ 北上サイトを仮定した詳細設計が進行中

Technical Design Report

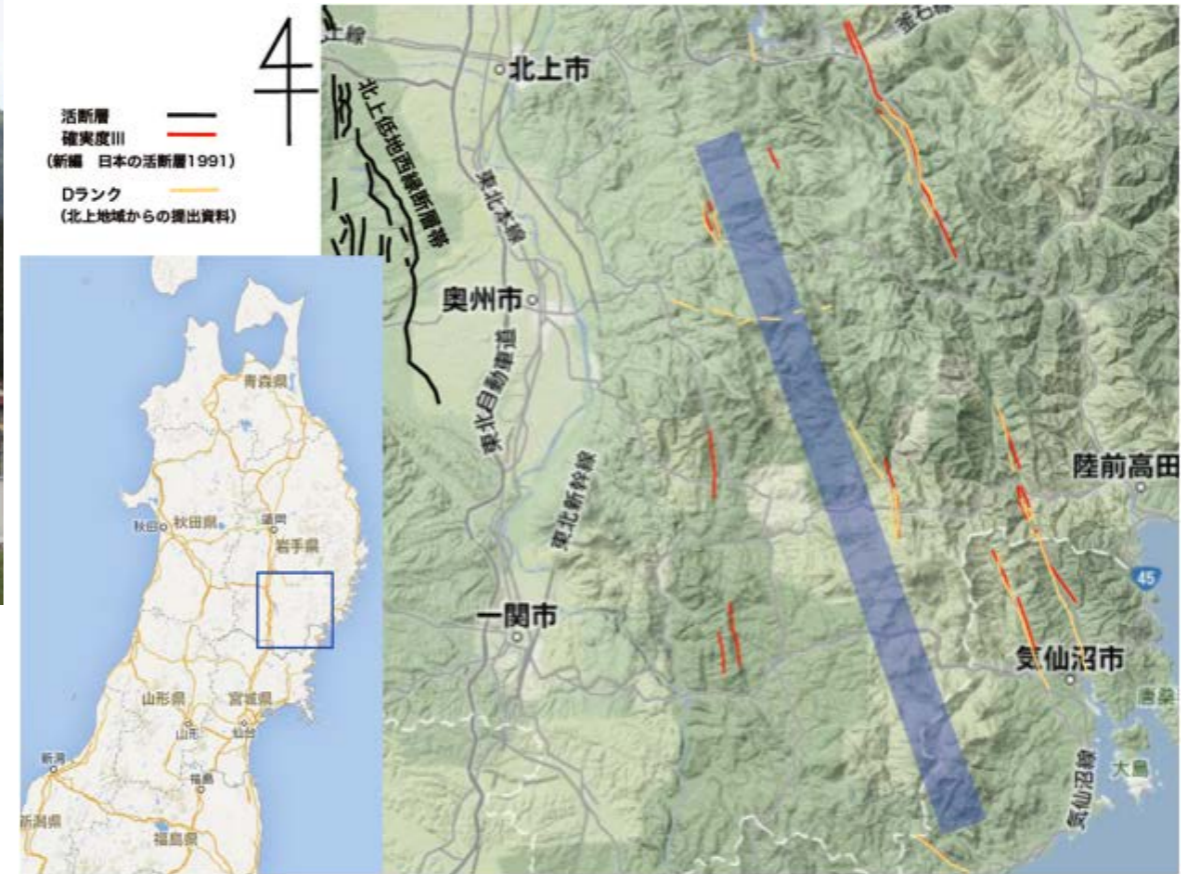
技術設計書



2013年6月12日 堂々公開！！



Preferred Site selected

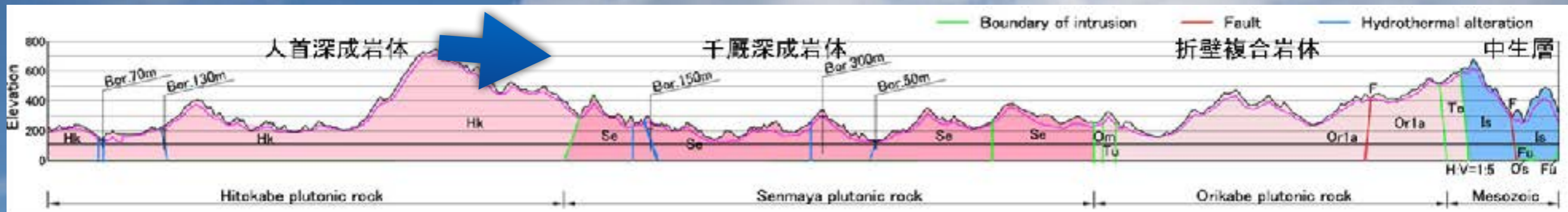


地元大学として

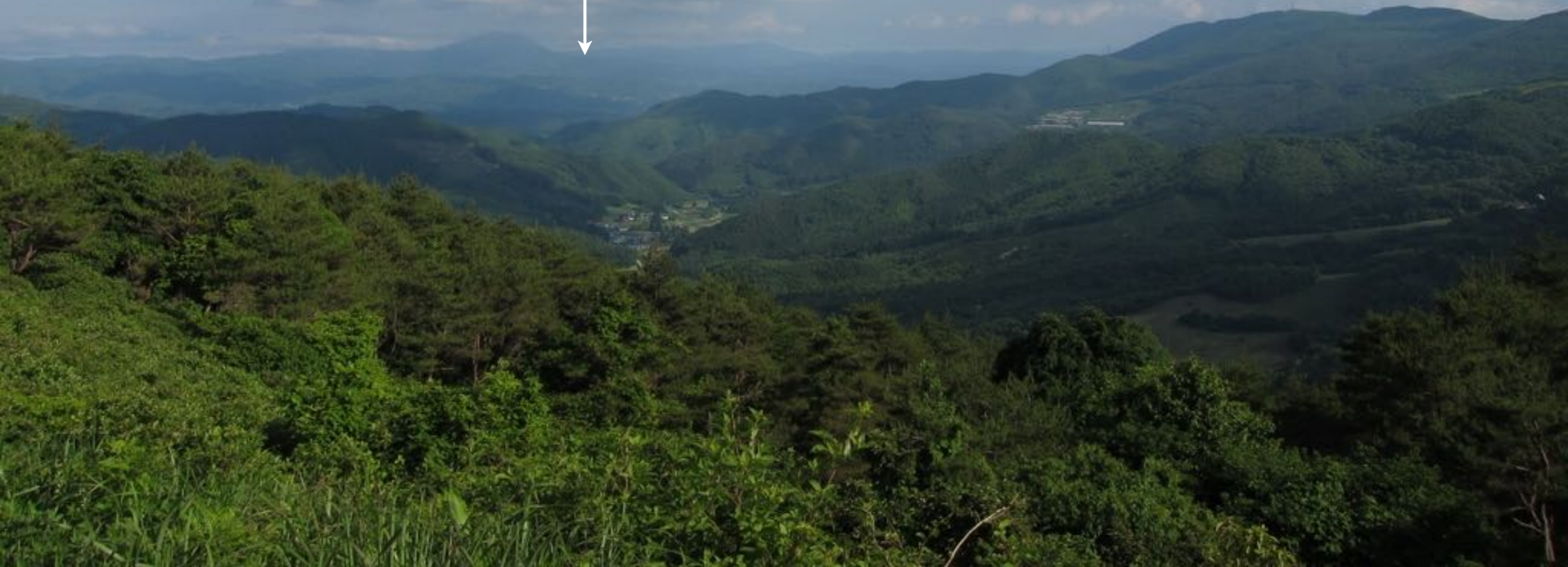
北上サイト：典型的な風景

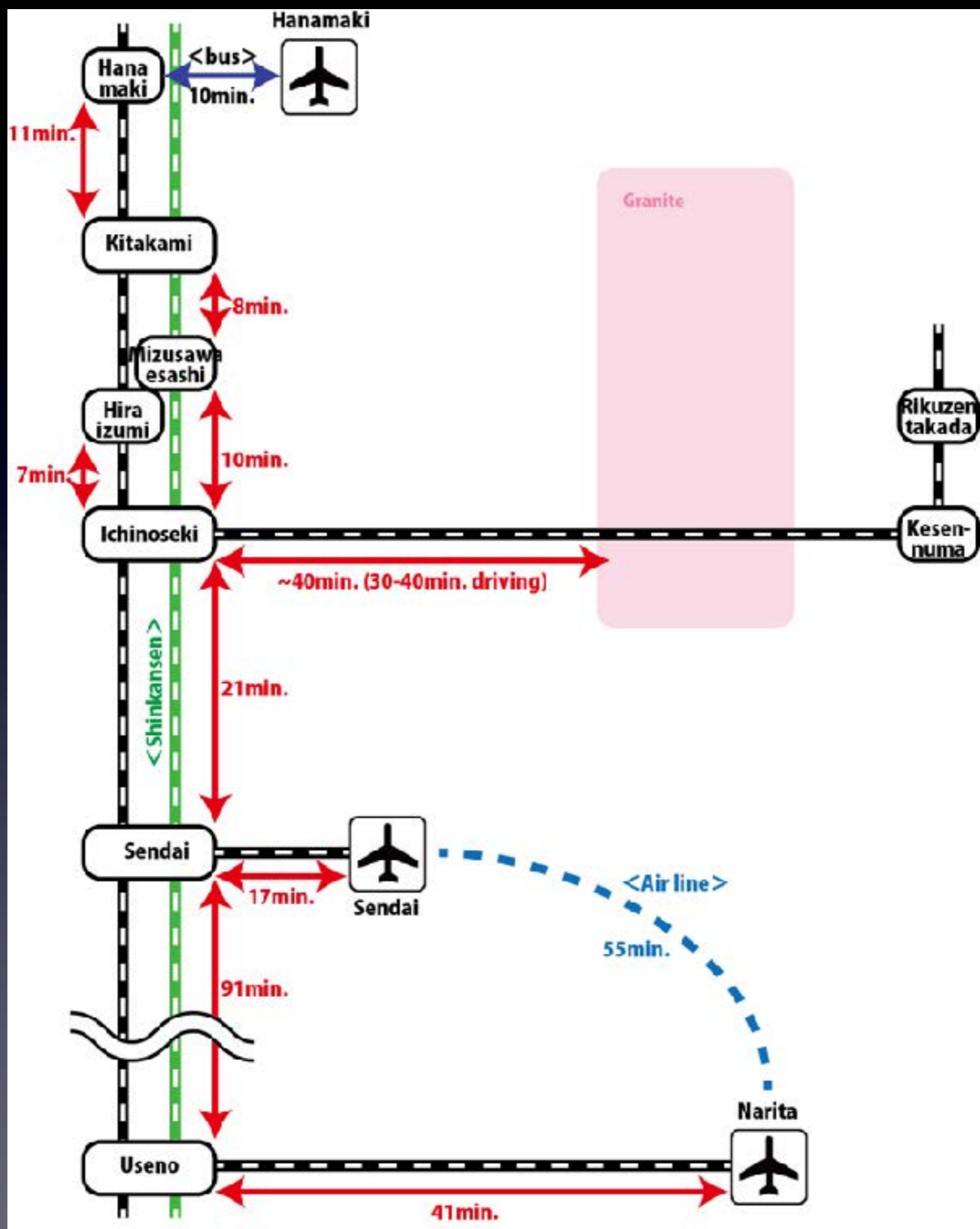


里山サイト



central area (~10km away)





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 孔口標高 : 230.39m(仮)		
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

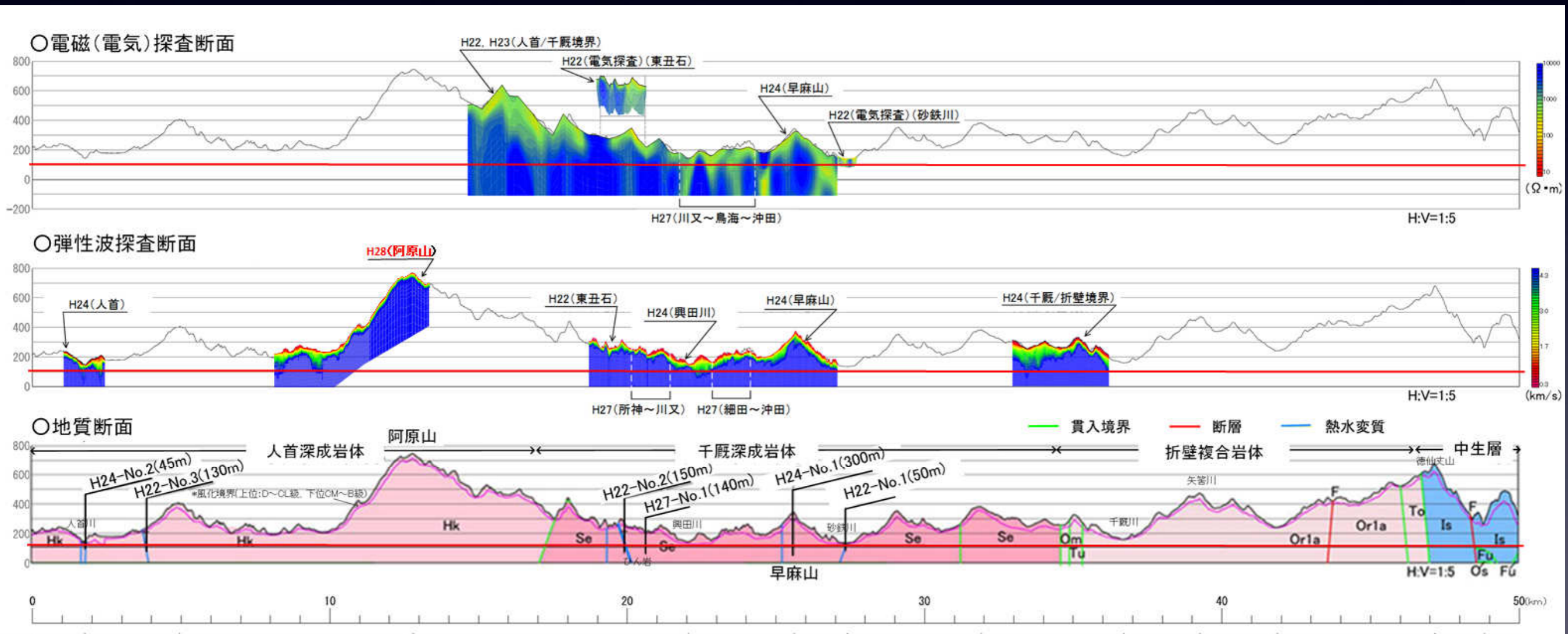
コア写真 (H27-No. 1孔)

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



← 31 km →

設計から実現へ

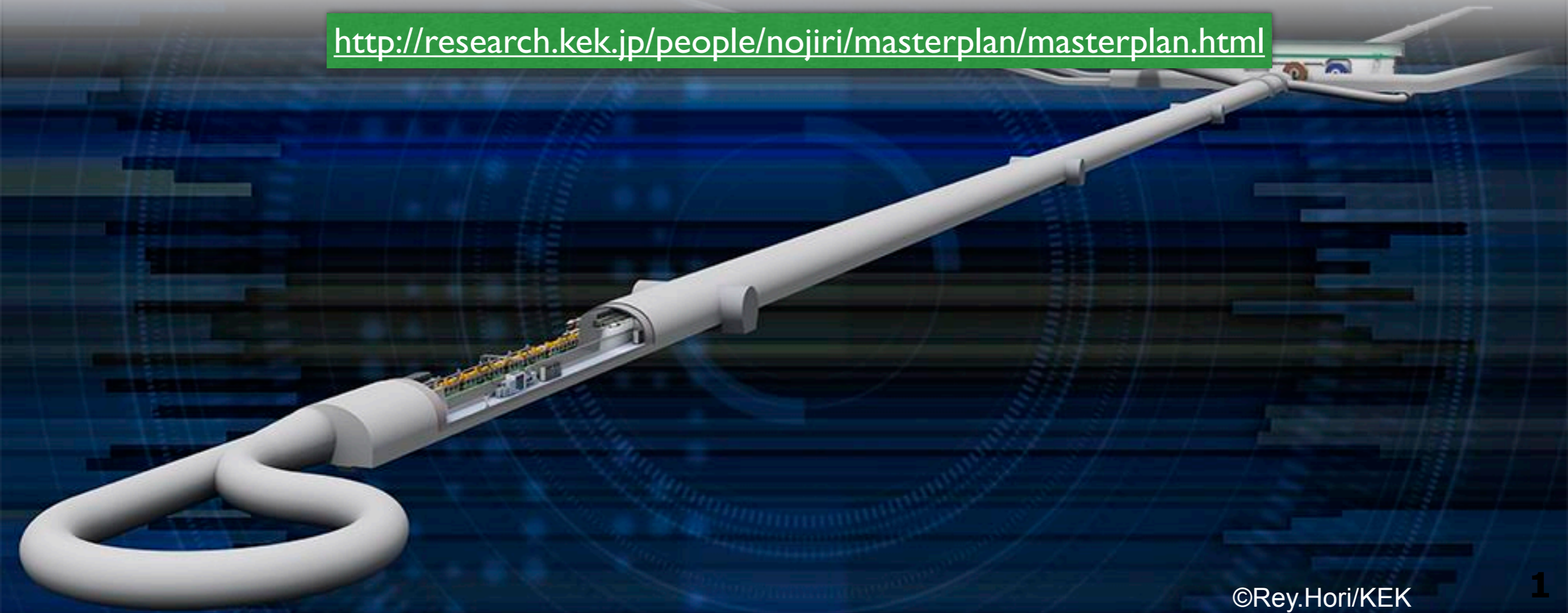
素粒子物理・原子核物理分野の「大型施設計画・大規模研究
計画に関するマスタープラン」に関するシンポジウム

ILC計画

2016年2月12日@日本学術会議講堂

九州大学 理学研究院・先端素粒子物理研究センター
川越 清以

<http://research.kek.jp/people/nojiri/masterplan/masterplan.html>



産学連携：先端加速器科学技術推進協議会

(Advanced Accelerator Association) (2008年6月設立)

一般会員（企業） 99社（三菱重工業、東芝、日立製作所、三菱電機、京セラ、他）
特別会員（公・研究機関） 38機関（高エネルギー加速器研究機構、東京大学、京都大学、
理化学研究所、原子力研究開発機構、放医研、他） 2014年6月現在

産学連携の実践

- 実現プロセスの連携
- 技術の産業化検討
- 立地課題の検討
- 技術移転の推進
- 知財の方策検討
- アウトリーチ



<http://www.aaa-sentan.org>



中核のモデル：ILCの実現

最高顧問 与謝野 馨
名誉会長 小柴 昌俊
会長 西岡 喬 (三菱重工業)
理事 鈴木 厚人 (高エネルギー加速器研究機構)
// 丸 彰 (日立製作所)、中谷 義昭 (三菱電機)
// 五十嵐 安治 (東芝)、野田 章 (京都大学)
// 南 慶二郎 (京セラ)
監事 駒宮 幸男 (東京大学)

The background of the slide features a soft, out-of-focus pattern of autumn leaves in shades of orange, red, and brown, scattered across a light cream-colored background.

Keynote Speech

<https://agenda.linearcollider.org/event/7371/>

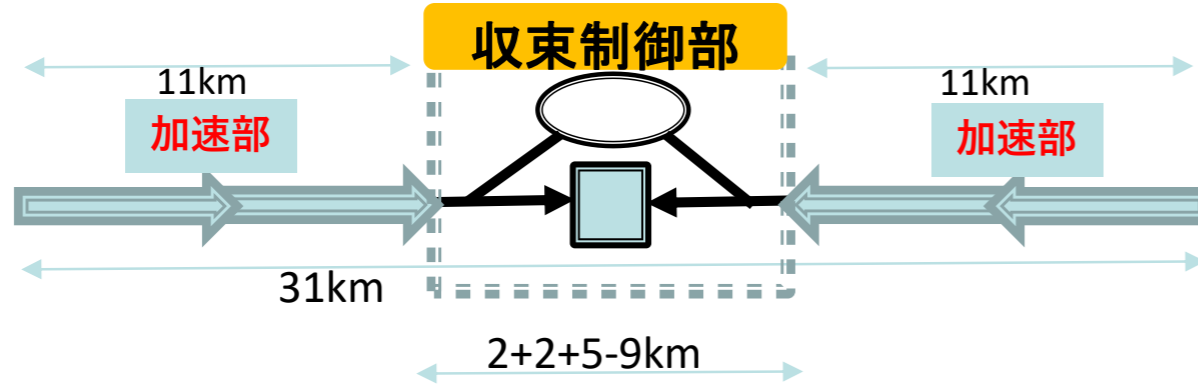
Takeo Kawamura
Member of the House of Representatives

ILC is a Higgs factory.

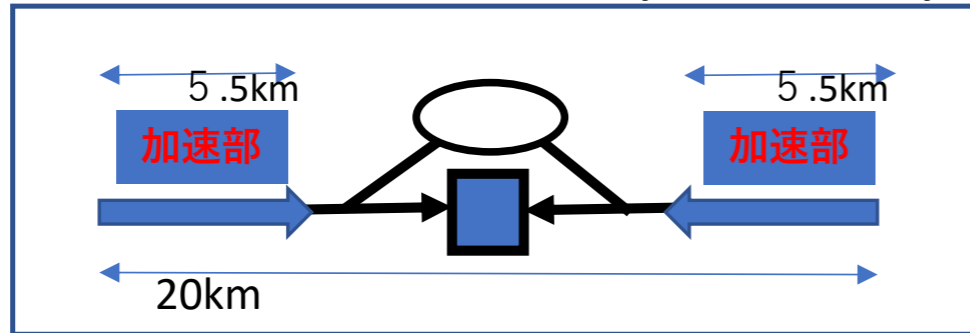
ILCステージング型 (LCWS2016を経て)

2017年3月物理学会 相原

これまでの基準計画案(2007-2016)



ステージング型ミニマム計画案(2016末より)

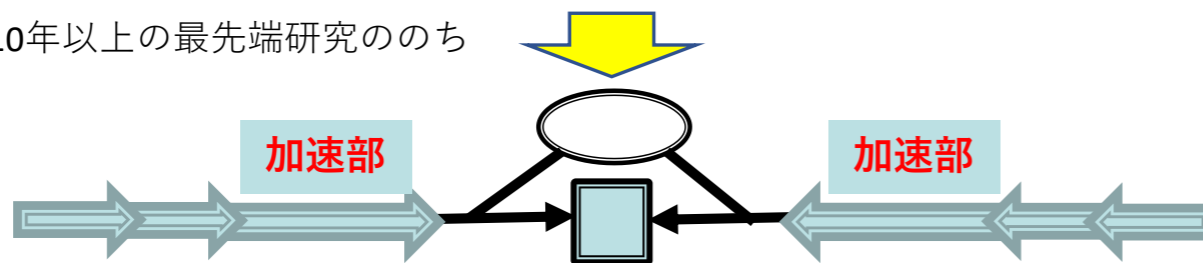


ILC250
2028~2038

建設・運転コストダウン2大項目

1. 日米協力 (性能向上) ⇒ ~10%削減
2. ミニマム計画 (20km) ⇒ ~30%削減

10年以上の最先端研究ののち

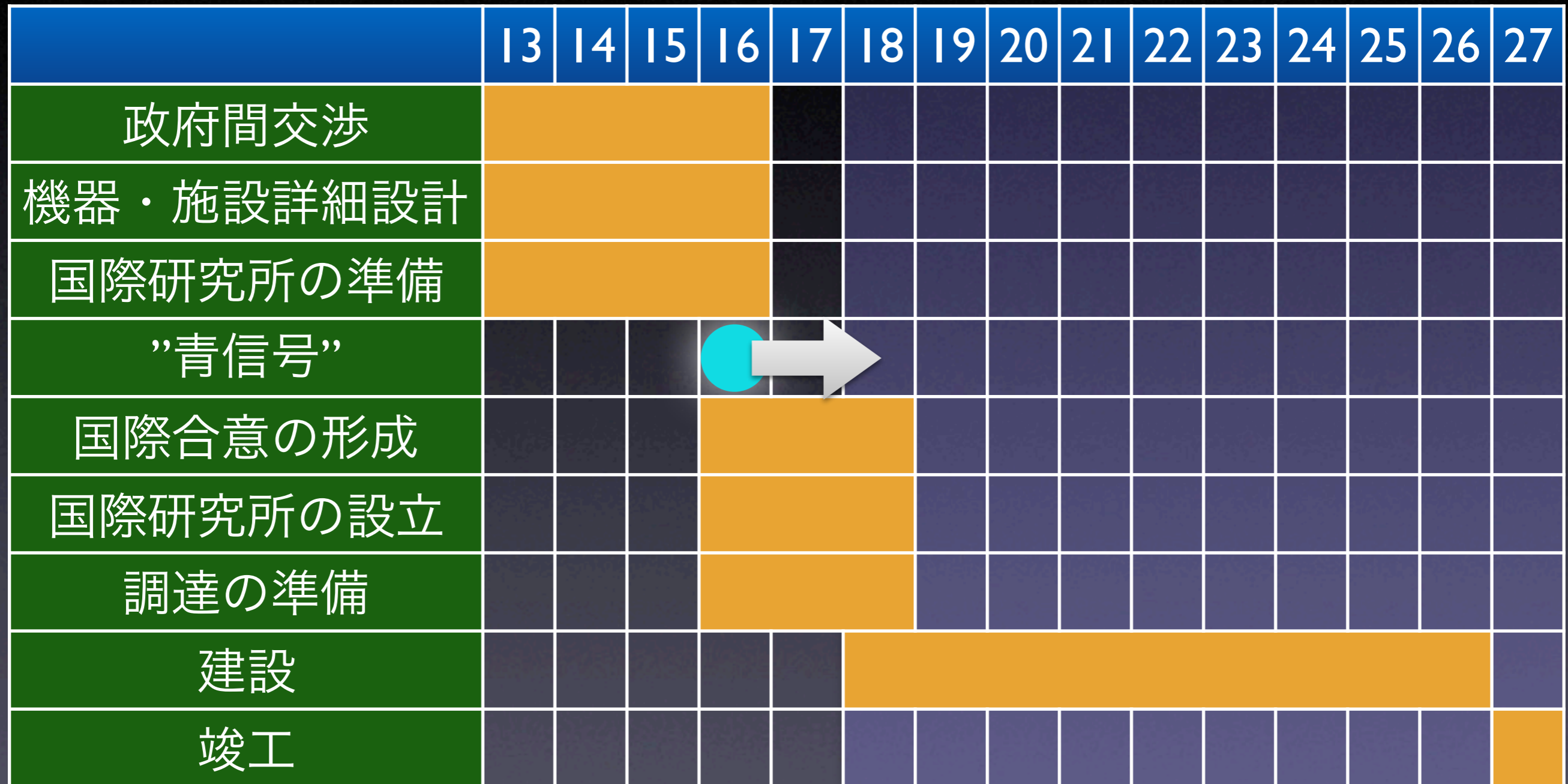


更に高度化 (瞬発力向上) した加速部を必要性と資金に合わせて段階的に継ぎ足していく (数十年にわたる世界最先端拠点)

確実な最重要研究対象	必要なエネルギー	直線 (ILC)	円形 (中国)
ヒッグス粒子	240 GeV	20 km	50~70 km
トップクォーク	350 GeV	24 km	100 km
2つのヒッグス同時生成	500 GeV	30 km	不可能
未知の領域	1000 GeV ~	50 km	不可能

ILCの実現へ向けて

研究者が提案したスケジュール (2013)



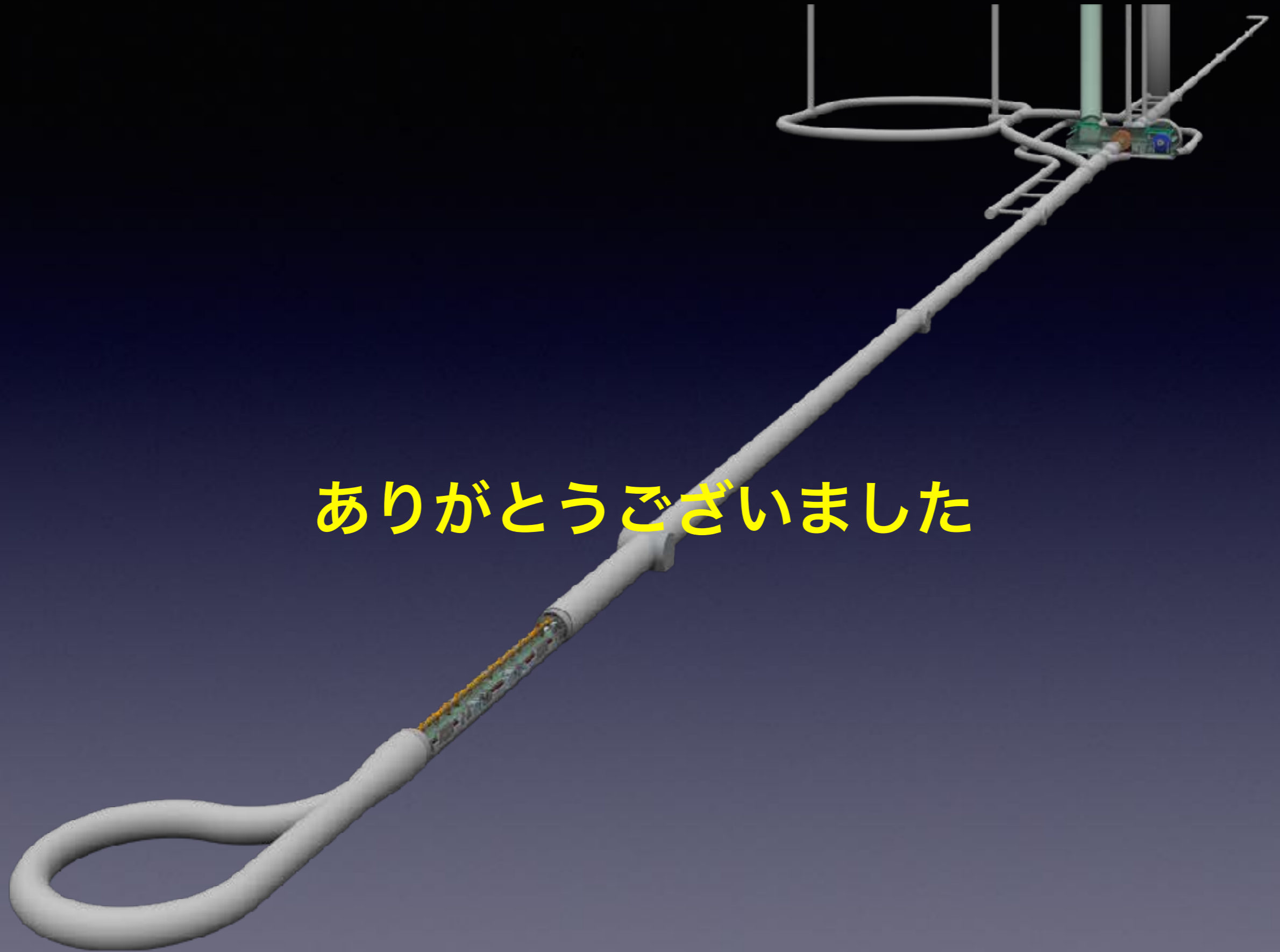
KEK-ILC Action Plan

表 2. ILC 加速器・準備期間における技術課題

	予備準備期間	本準備期間			
	現在	P1	P2	P3	P4
加速器設計	加速器詳細諸元の固定	システム・シミュレーション、諸元の確認			
SRF	多連空洞・クライオモジュールによる ビーム加速の達成	工業化・量産技術システム実証、性能の安定化 ハブラボ機能実証、国際分担の確立			
ナノビーム	ナノビーム目標達成	ナノビームサイズ、安定性の実証			
陽電子源	陽電子源要素技術実証	アンジュレーター及び電子駆動・陽電子源の実証			
施設	予備調査、基本計画	地質地形環境調査、技術設計、仕様書・図面整備			
共通技術支援	共通技術支援・安全基本指針策定	共通技術・研究支援（ネットワーク、放射線安全等）			
事務管理	準備計画の立案・推進 ILC pre-lab の準備	総務、会計、国際協力、広報 ILC pre-lab の立ち上げ、準備推進			

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
- 電子ビームを活用した幅広い実験の可能性



ありがとうございました