

# リニアコライダー計画(ILC) -加速器科学の挑戦-

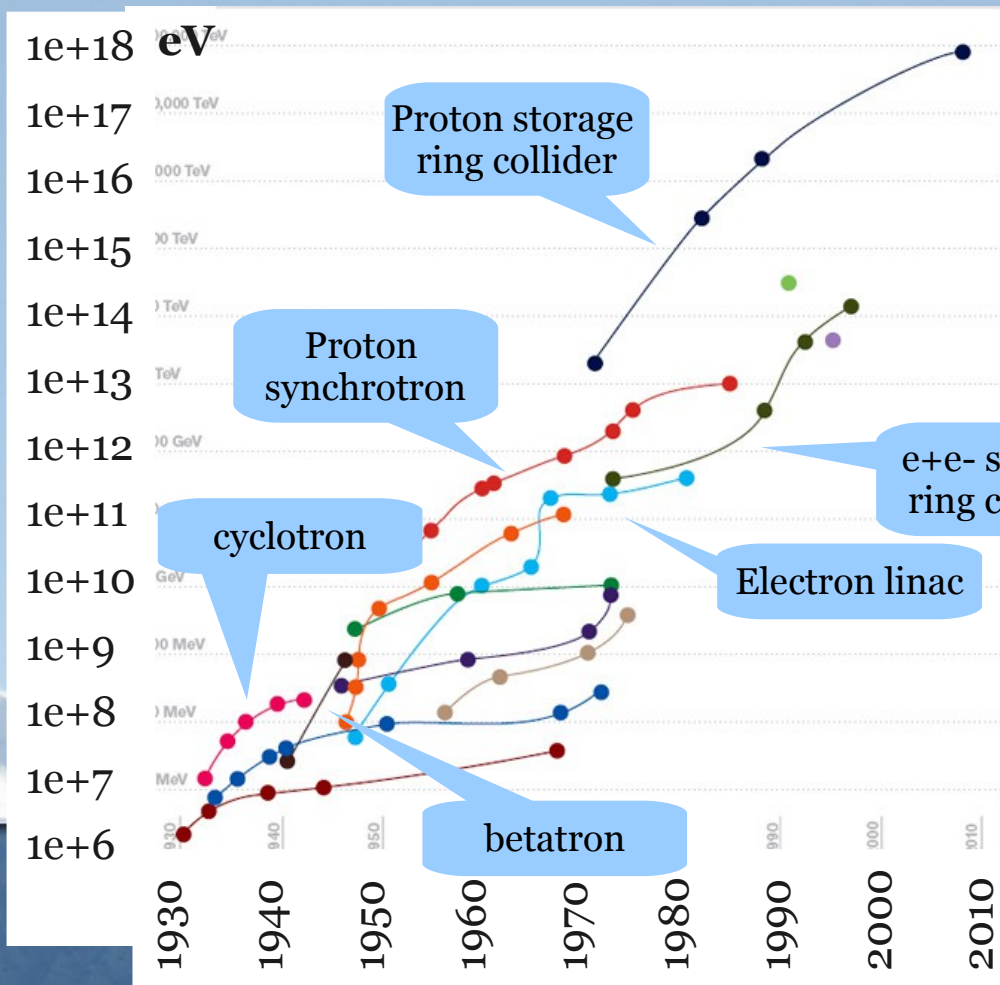
広島大学先端物質科学研究科 栗木雅夫

- 加速器科学の動向とLC
- ILC加速器の概要
- ILC, the first global project in Asia.
- まとめ

# 加速器科学の動向とLC

# Livingston Plot : Evolution of Particle Accelerator

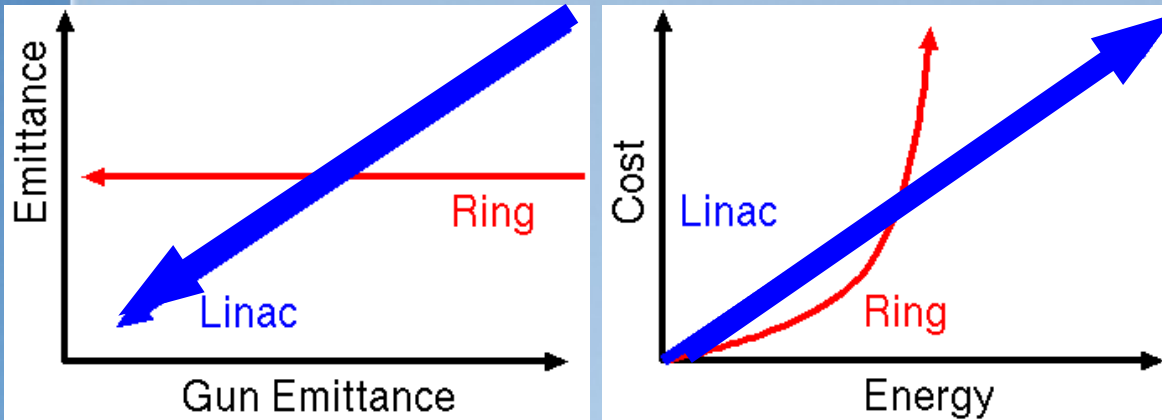
加速エネルギーの急激な発展～加速器の発明  
多段ロケット式発展



We need new ways to  
reach higher energy!

From Symmetry Magazine

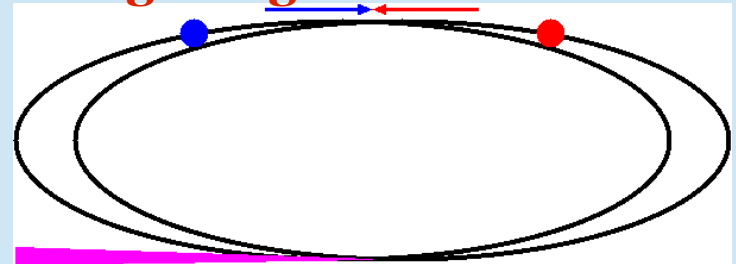
# Storage ring and LINAC



**LINAC**



**Storage ring**



$$\epsilon_x = \frac{\epsilon_{cathode}}{\gamma\beta}$$

**Emittance**

$$\epsilon_x = C_q \frac{\gamma^2}{J_h} \frac{I_5}{I_2}$$

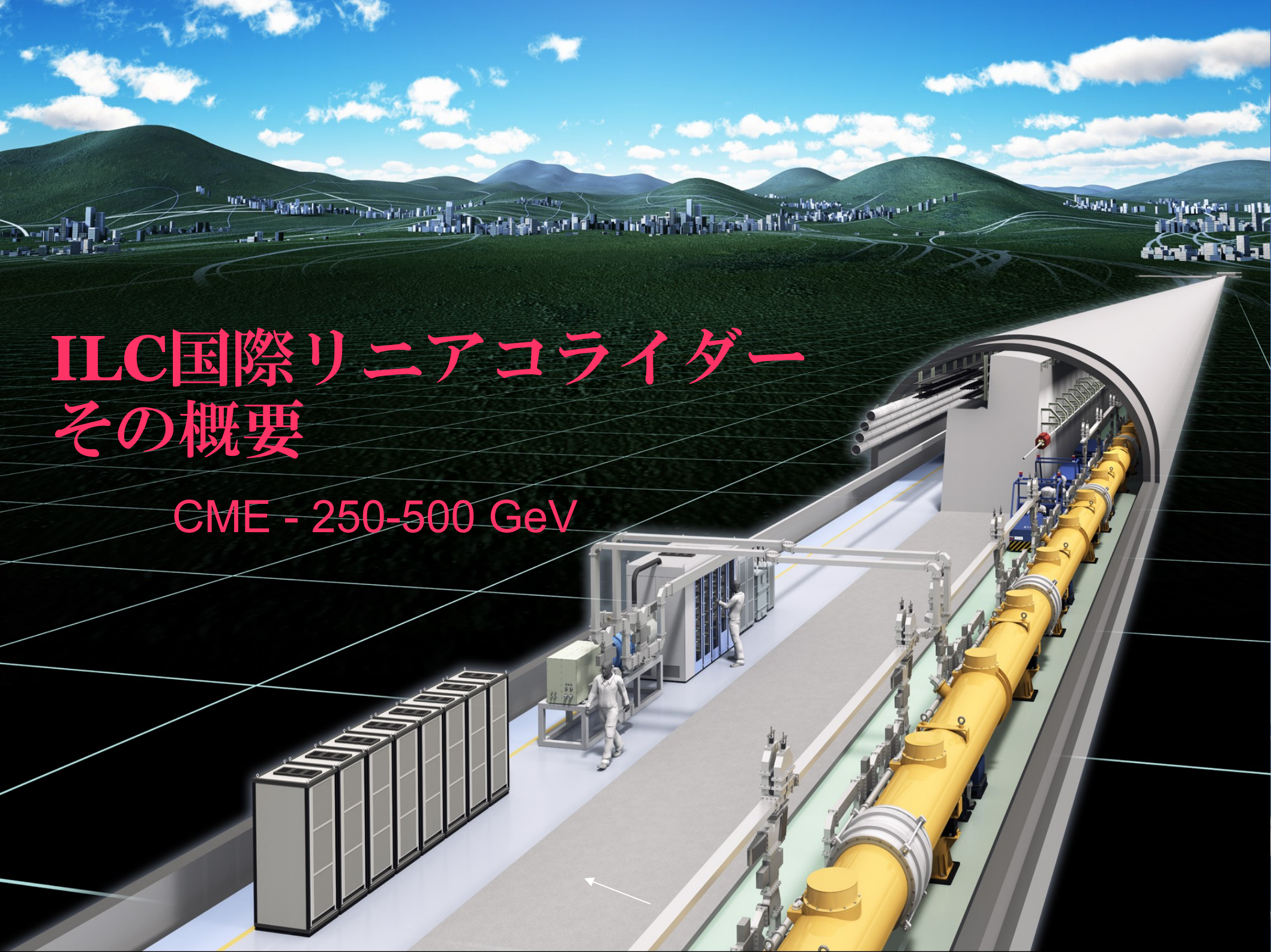
not at all

**Energy loss**

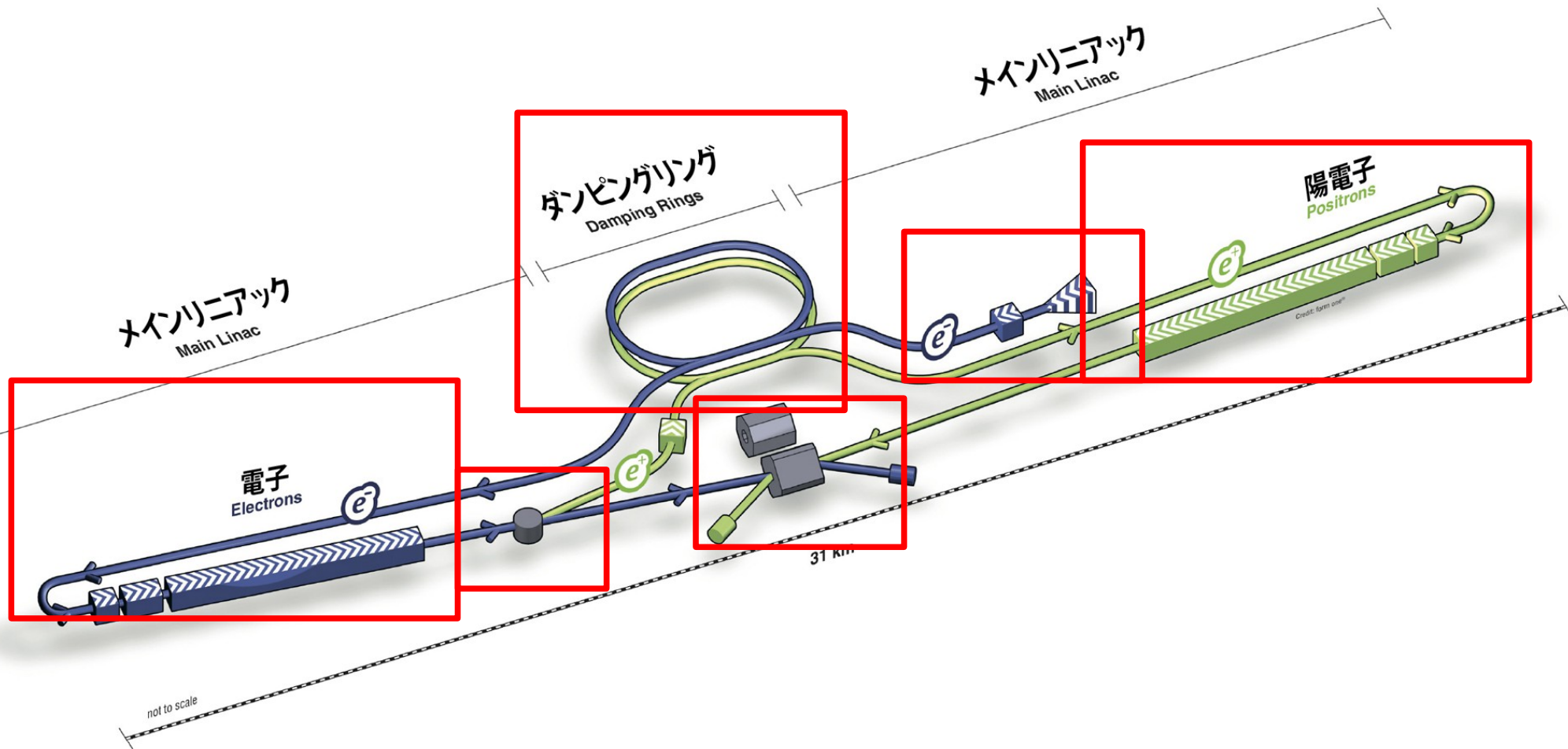
$$\Delta E = \frac{C_y E^4}{\beta\rho}$$

# ILC国際リニアコライダー その概要

CME - 250-500 GeV



# ILCの概要



# ILCの主役：スピン偏極電子



- 初期状態の厳密な定義：粒子、エネルギー、スピン！
- 右回りスピンと左回りスピンの電子は異なる粒子

$l_L \equiv \begin{pmatrix} \nu_{eL} \\ e_L \end{pmatrix}$	$I_W = \frac{1}{2}, Y_W = -1$
$e_R$	$I_W = 0, Y_W = -2$

$$P \equiv \frac{N_R - N_L}{N_R + N_L}$$

- 実効的にルミノシティを増大
- SN比を大幅に改善

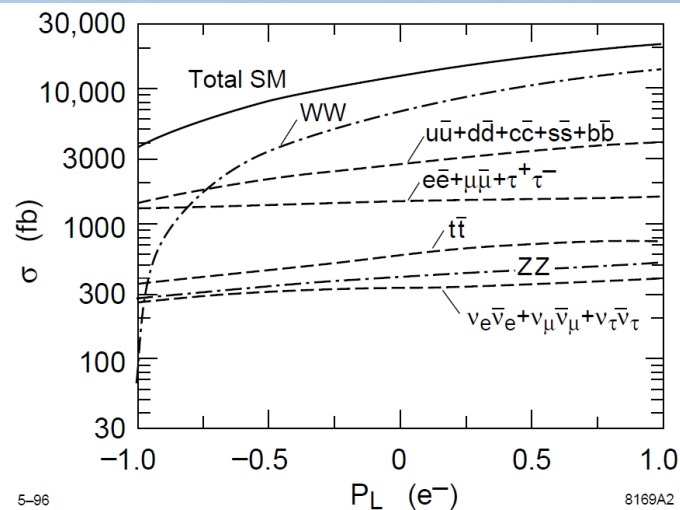


Figure 2.3: Cross sections for Standard Model physics processes in  $e^+e^-$  annihilation at 500 GeV, as a function of the electron longitudinal polarization.

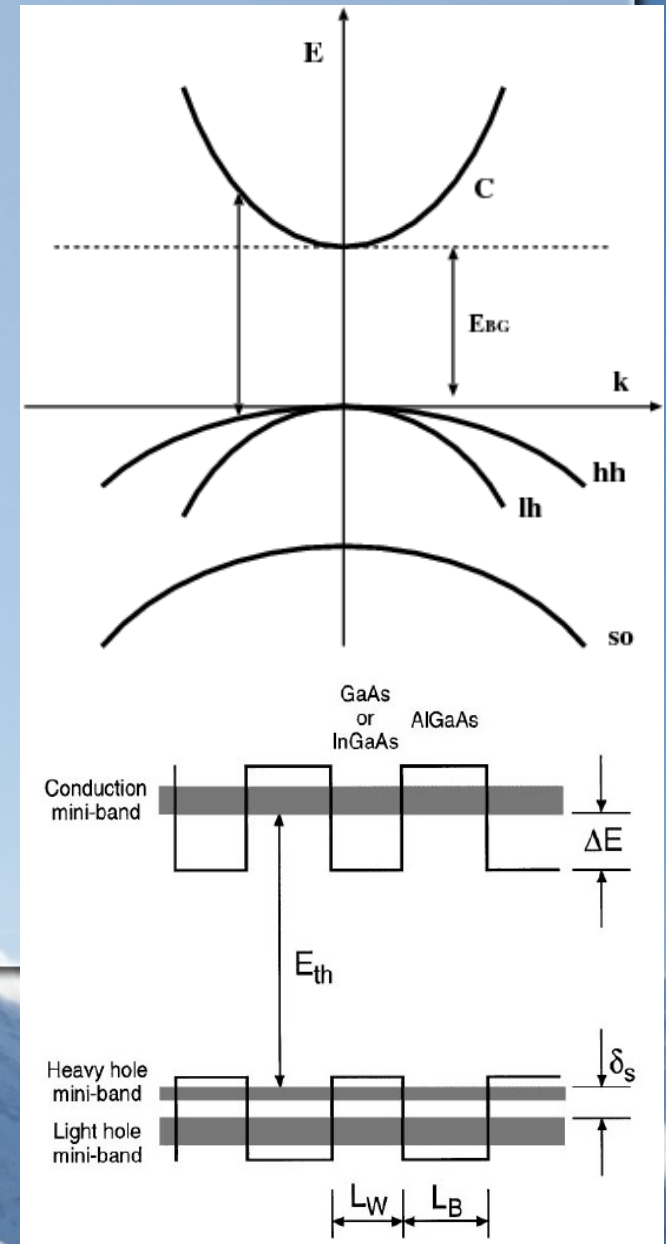
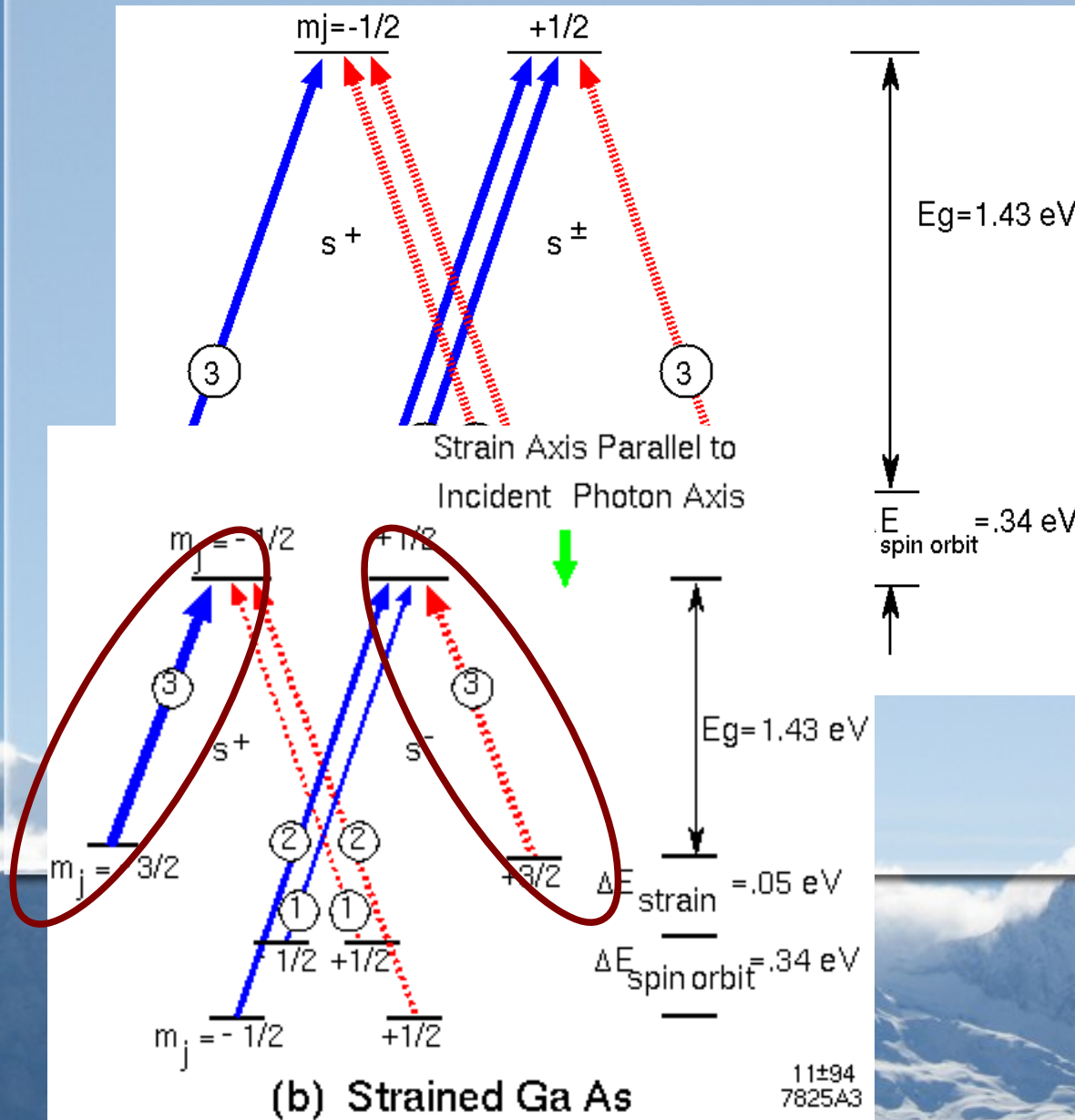
# In 1970'

Method	Pol.(%)	Avarage curent (A)	Peak current(A)	Spin Reveral	Brightness
NEA GaAs	40	1e-6	1e-1	Laser	Very High
EuO photo-emission	27	1e-6	1e-4	Mag.	medium
Photo Ion. Pol. Li	76		1e-4	Mag.	medium
Fano effect, Photo-Ion. Cs	90		1e-4	Laser	high
Optical pump He discharge	30	1e-6		Laser	high
EuS field emission	89			Mag.	very high
Electron scattering from Hg beam	27	2e-8		angle	medium
Electron scattering from W.	40	5e-8		angle, E	high

reproduced from D. T. Pierce, Phys. Rev. B 13(1976) 5485



# Photo-emission from GaAs



# History of NEA GaAs

Year	Type	Pol. (%)	Quantum Eff.	Author
1976	Zn-GaAs	40	1e-4	Tech. H. Zürich
1981	AlGaAs-GaAs SL	49	1e-4	Jülich, Germany
1991	AlGaAs-GaAs SL	71	2e-4	Nagoya, KEK, NEC
	Strained InGaAs	70	1e-5 ~ 1e-4	SLAC, UCB,
	Strained GaAs on GaAsP	86	2e-4	Nagoya, Osaka P., Toyota, Daido
1992	Strained GaAs on GaAsP	90%	1e-3	SLAC
1994	InGaAs-GaAs strained SL	83	1.5e-4	Nagoya, KEK
2005	GaAs-GaAsP strained SL	92+-6	5e-3	Nagoya, KEK

# Revolutional Year, 1991



- Theoretical limit of the polarization from bulk GaAs cathode is 50%.
- Even higher polarization by breaking the degeneration had been proposed since 1980, significantly larger polarization than 50% had not been demonstrated.
- More than 50% polarization was demonstrated by Nagoya-KEK and SLAC teams in 1991.

## Large enhancement of spin polarization observed by photoelectrons from a strained GaAs layer

T. Nakanishi <sup>a</sup>, H. Aoyagi <sup>a</sup>, H. Horinaka <sup>b</sup>, Y. Kamiya <sup>c</sup>, T. Kato <sup>d</sup>, S. Nakamura <sup>a,1</sup>,  
T. Saka <sup>d</sup> and M. Tsubata <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Physics, Nagoya University

<sup>b</sup> College of Engineering, Osaka University

<sup>c</sup> Toyota Technical Institute, Nagoya

<sup>d</sup> New Materials Research Laboratory

VOLUME 66, NUMBER 18

PHYSICAL REVIEW LETTERS

6 MAY 1991

### Observation of Strain-Enhanced Electron-Spin Polarization in Photoemission from InGaAs

Received 17 May 1991; revised  
Communicated by J.I. Budnick

T. Maruyama and E. L. Garwin

*Stanford Linear Accelerator Center, Stanford University, Stanford, California 94309*

R. Prepost and G. H. Zapalac

*Department of Physics, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin 53706*

J. S. Smith and J. D. Walker

VOLUME 67, NUMBER 23

PHYSICAL REVIEW LETTERS

2 DECEMBER 1991

### Large Enhancement of Polarization Observed by Extracted Electrons from the AlGaAs-GaAs Superlattice

T. Omori, <sup>(1)</sup> Y. Kurihara, <sup>(1)</sup> T. Nakanishi, <sup>(2)</sup> H. Aoyagi, <sup>(2)</sup> T. Baba, <sup>(3)</sup> T. Furuya, <sup>(1)</sup> K. Itoga, <sup>(1)</sup>  
M. Mizuta, <sup>(3)</sup> S. Nakamura, <sup>(2),(a)</sup> Y. Takeuchi, <sup>(1)</sup> M. Tsubata, <sup>(2)</sup> and M. Yoshioka <sup>(1)</sup>

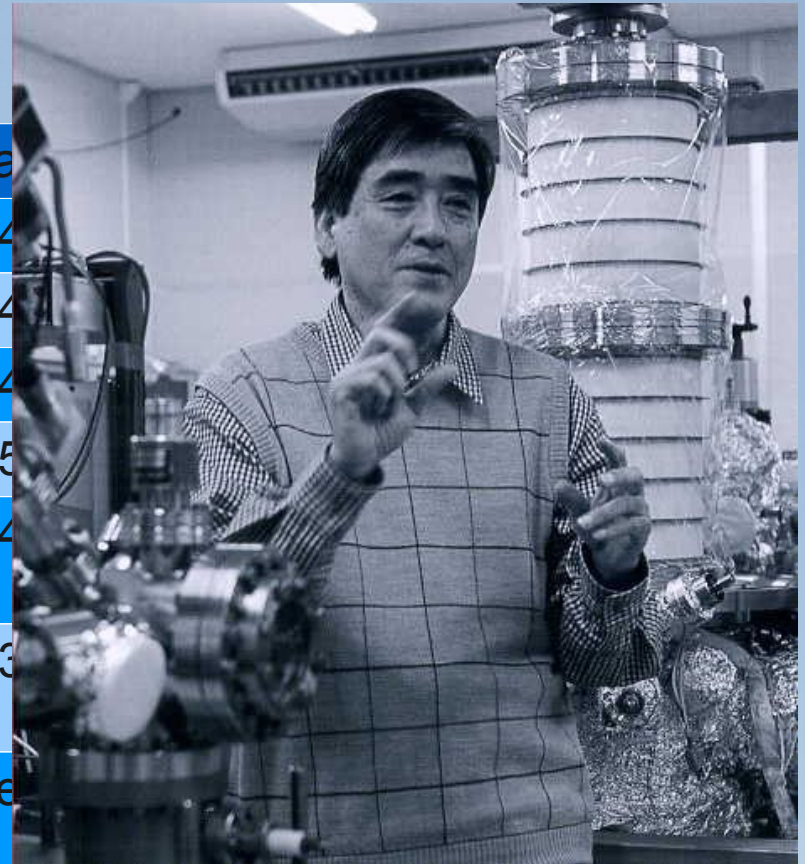
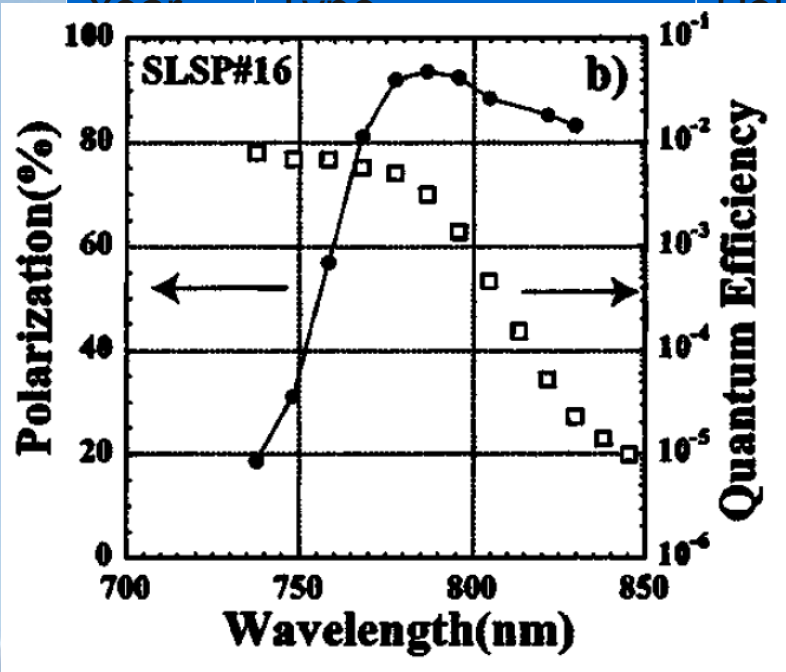
<sup>(1)</sup> KEK, National Laboratory for High Energy Physics, Oho 1-1, Tsukuba-city, Ibaraki-ken, 305 Japan

<sup>(2)</sup> Faculty of Science, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-city, Aichi-ken, 406 Japan

<sup>(3)</sup> Fundamental Research Laboratories, NEC Corporation, Miyukigaoka 34, Tsukuba-city, Ibaraki-ken, 305 Japan

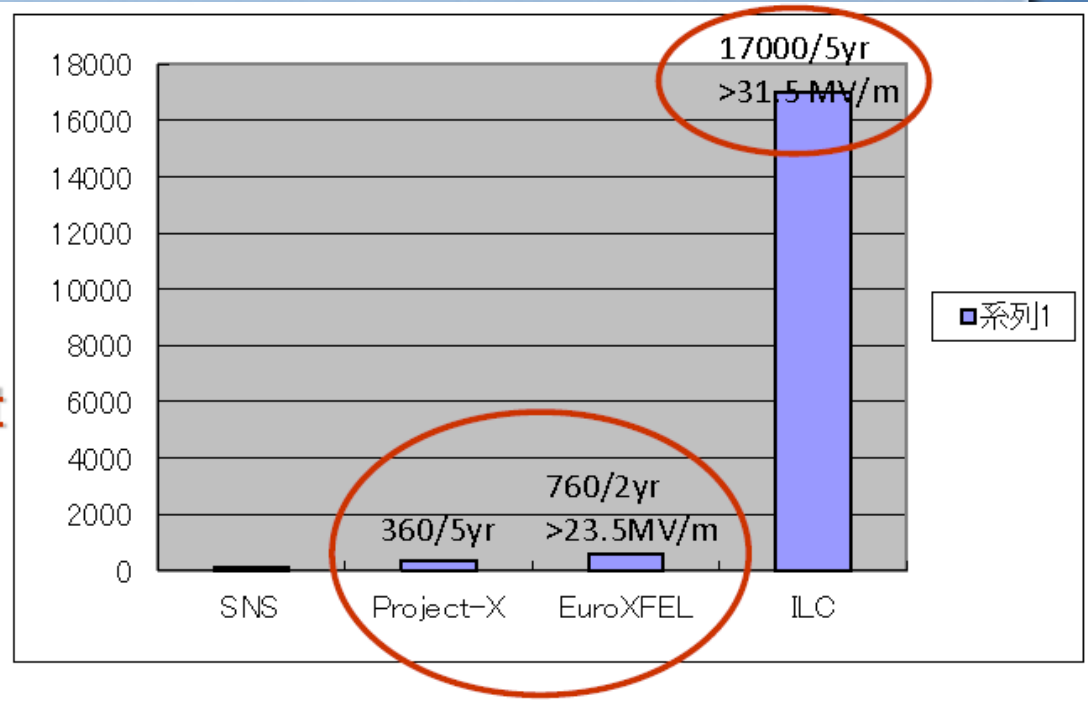
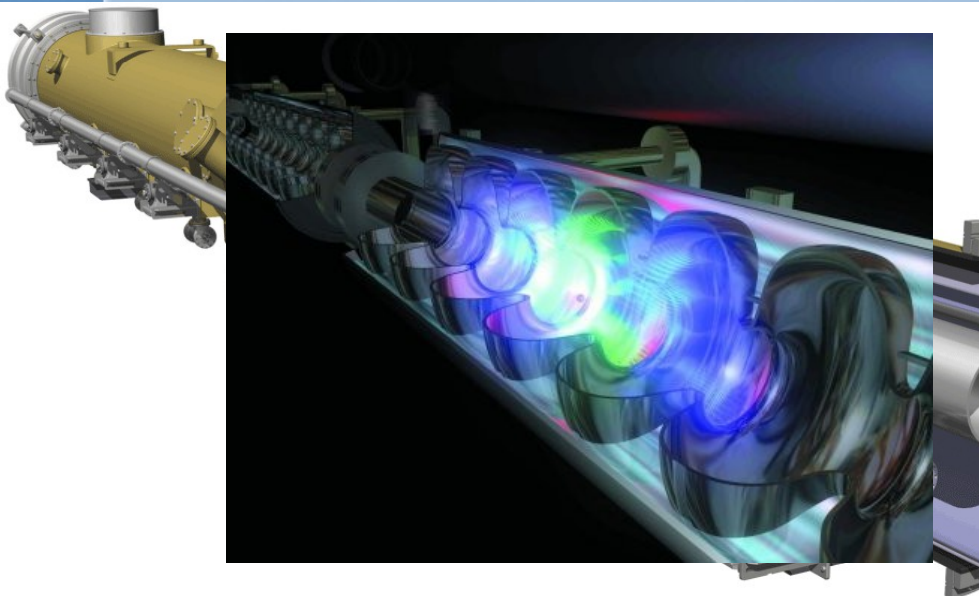
(Received 13 March 1991)

# History of NEA GaAs

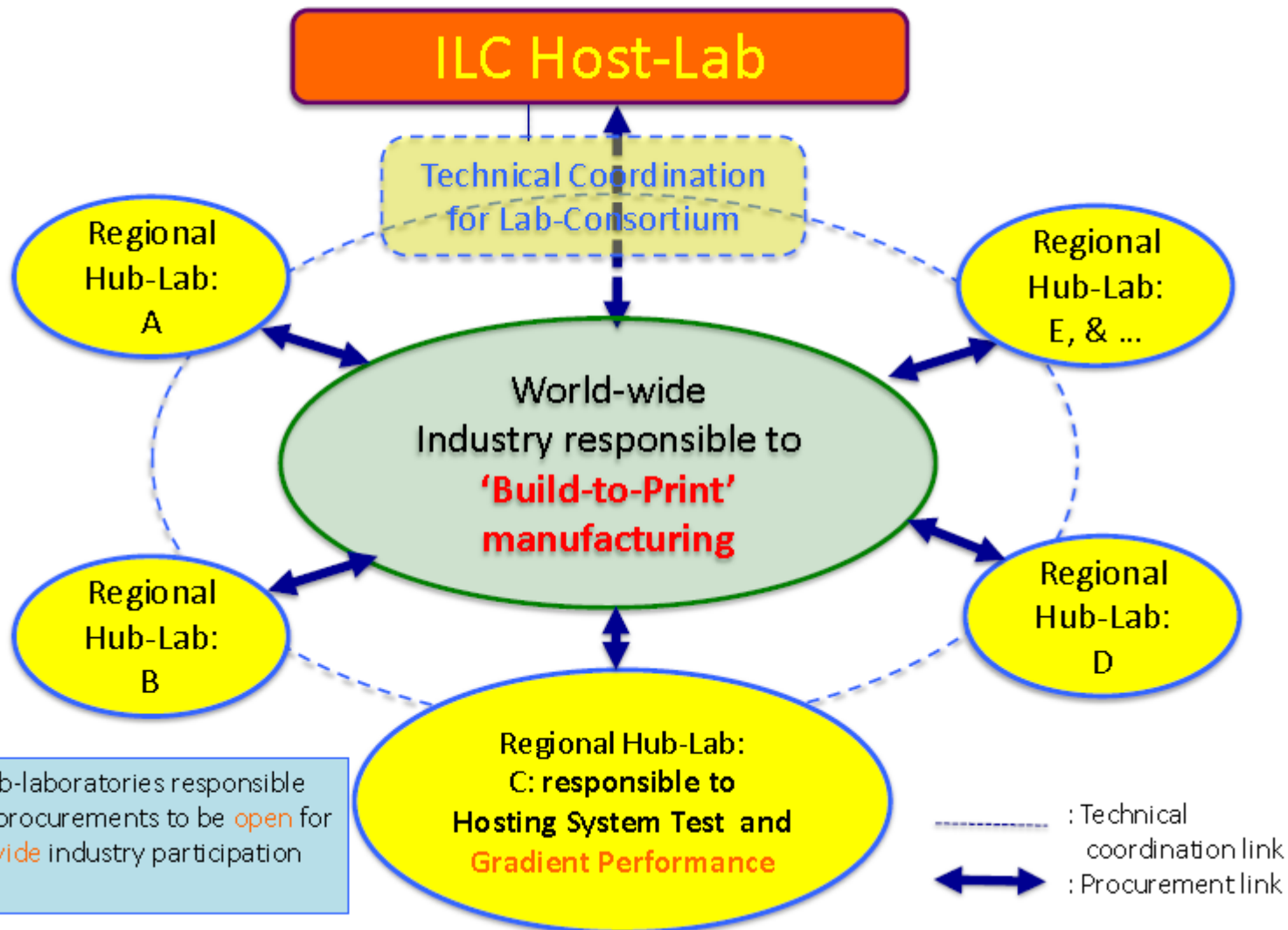


Year	Type	Pol. (%)	Quant. Eff.	Location
2005	GaAs-GaAsP strained SL	92+-6	5e-3	Nagoya, KEK

# 主加速器



# SCRF Procurement/Manufacturing Model



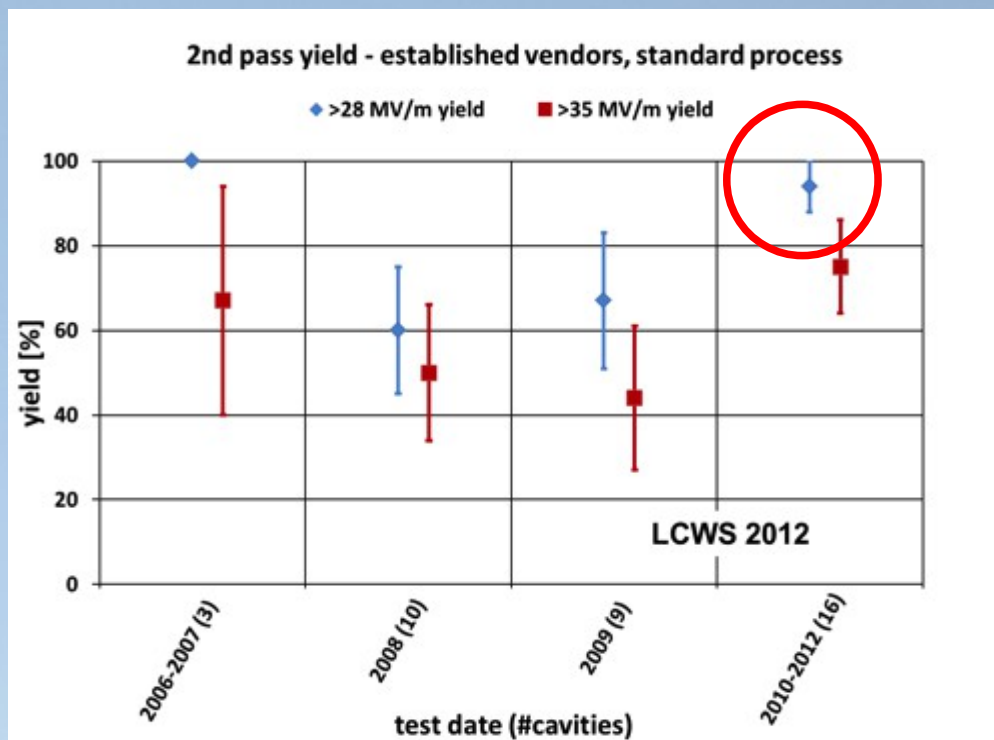
Regional hub-laboratories responsible to regional procurements to be open for any world-wide industry participation

----- : Technical coordination link  
↔ : Procurement link

# 主加速器

Production yield:  
94 % @ > 28 MV/m,  
Average gradient:  
37.1 MV/m

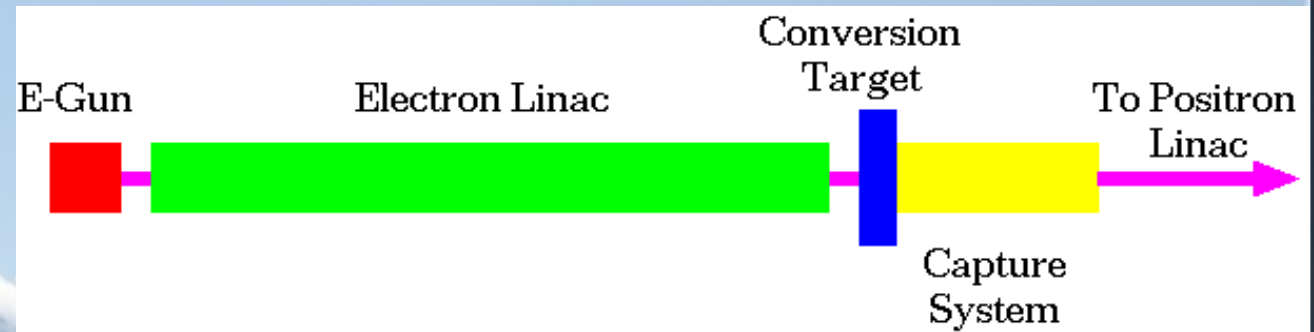
製造技術まで含めて、  
ILCは実現可能である。



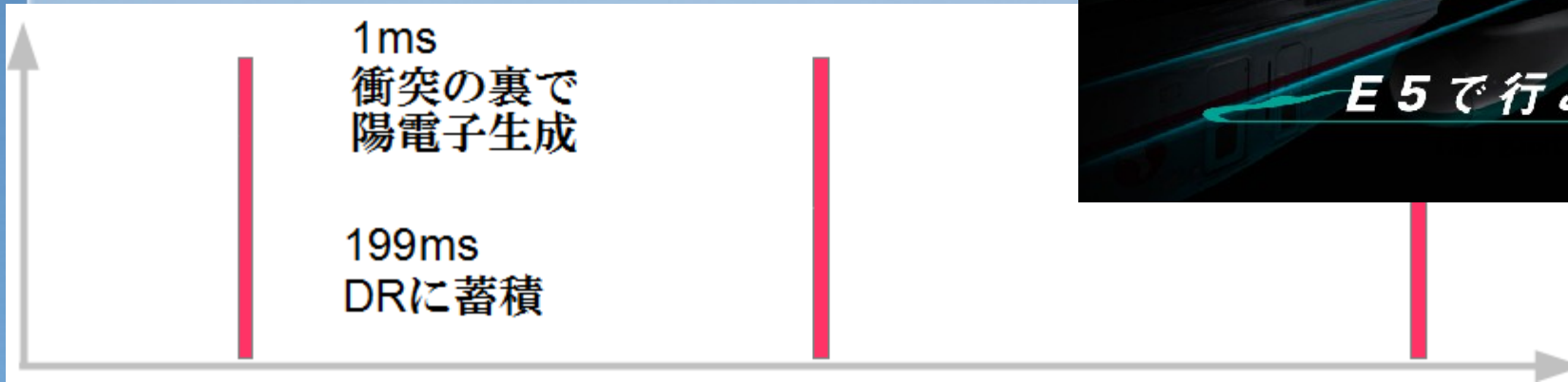


# Positron Generation

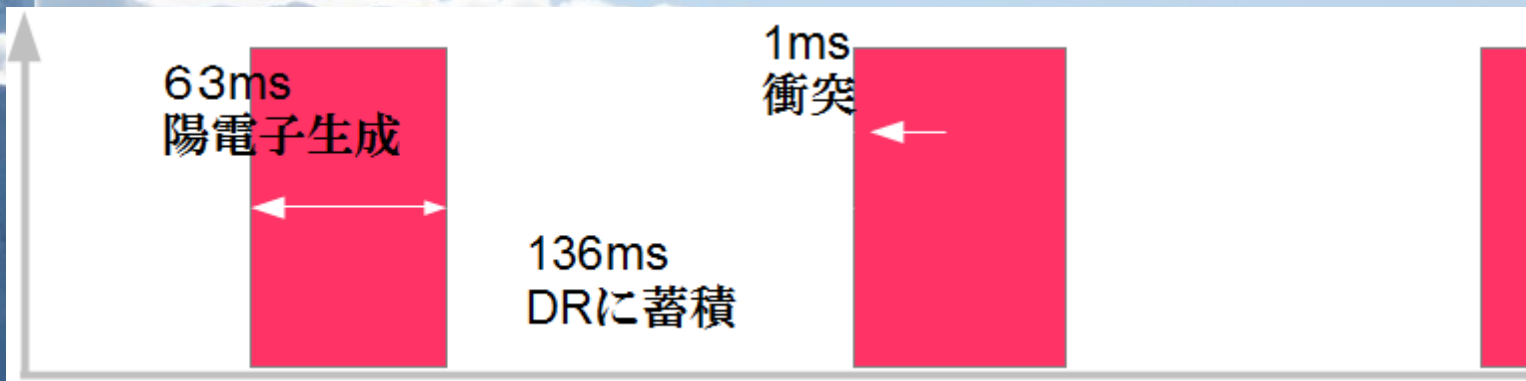
- Undulator scheme is the baseline, e- driven is a backup.
- Electron driven is a backup: 6 GeV e- beam on W-Re target.
- If positron is generated in 1ms, target speed is 400 m/s.
- If positron is generated in 63ms, target speed is 5 m/s. It is manageable.



e+ generation in 1ms,  
Target speed is 4 times faster  
than E5 wheel !

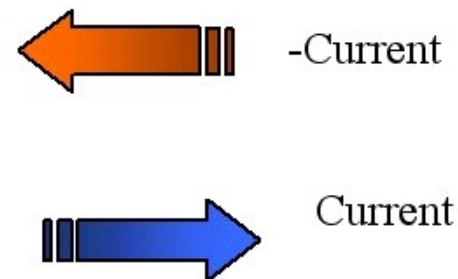
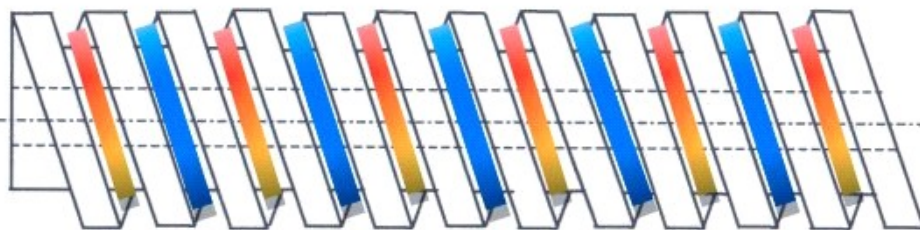
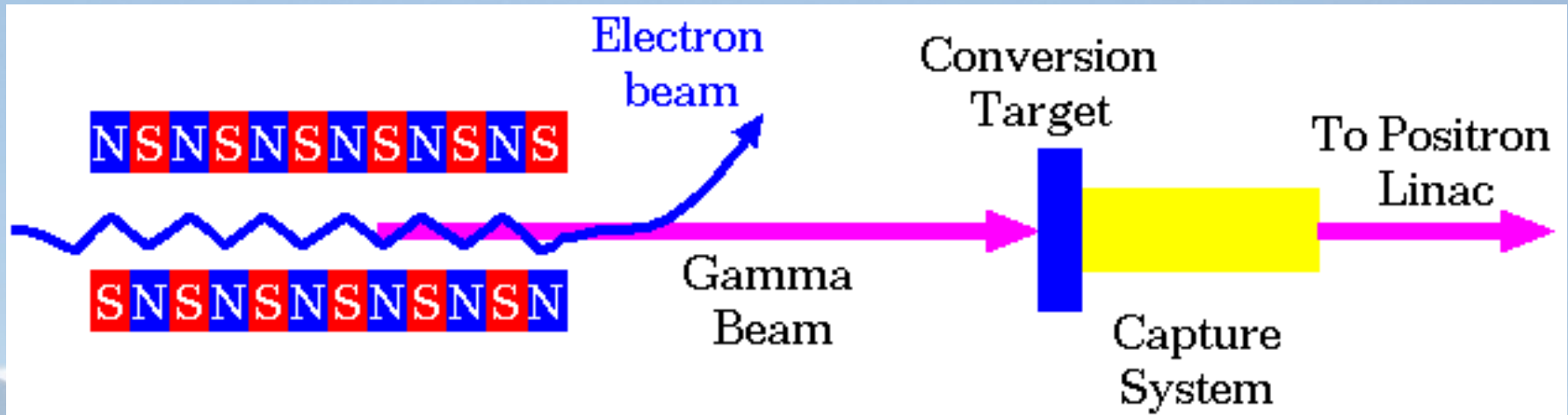


e+ generation in 63ms,  
Target speed is same as  
marathon runner!



# Undulator Positron Source

- $>130\text{GeV}$  electron beam for collision is shared as the undulator driver.
- Helical undulator for polarized gamma ray generation.



# リニアコライダーと非対称ビーム

事象発生率

$$N = \sigma \times L$$

$\sigma_y \ll \sigma_x$  (非対称ビーム)

Beamstrahlung, Disruption  
を抑制して、ルミノシティ  
を確保。

ルミノシティ

$$L = \frac{f_{rep} n_b N^2}{4\pi \sigma_x \sigma_y}$$

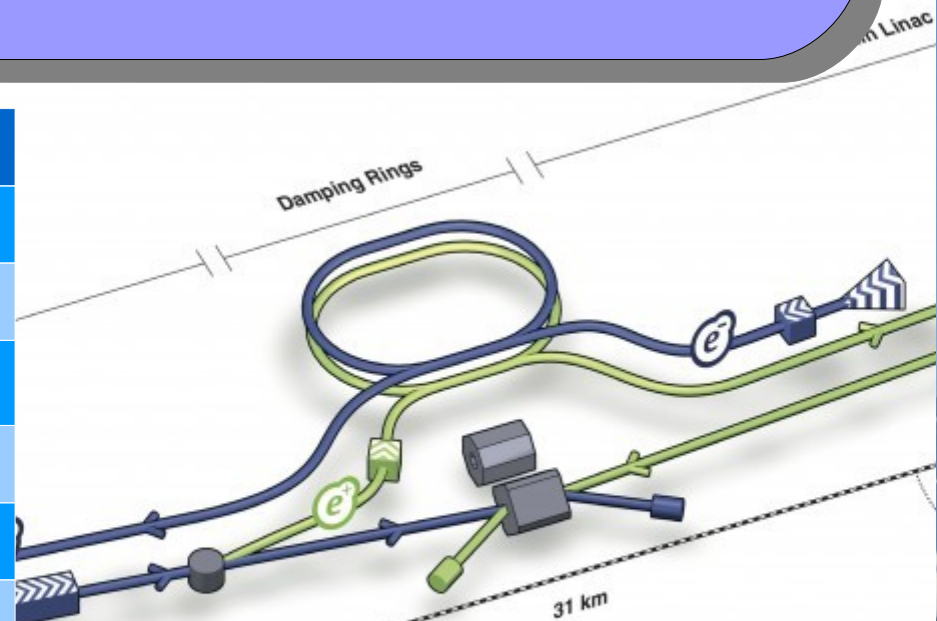
Beamstrahlung

$$\frac{\Delta E}{E} \propto \frac{N^2 E}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) \sigma_z}$$

Disruption

$$D_{x,y} = \frac{2Nr_e}{\gamma} \frac{\sigma_z}{\sigma_{x,y}(\sigma_x + \sigma_y)}$$

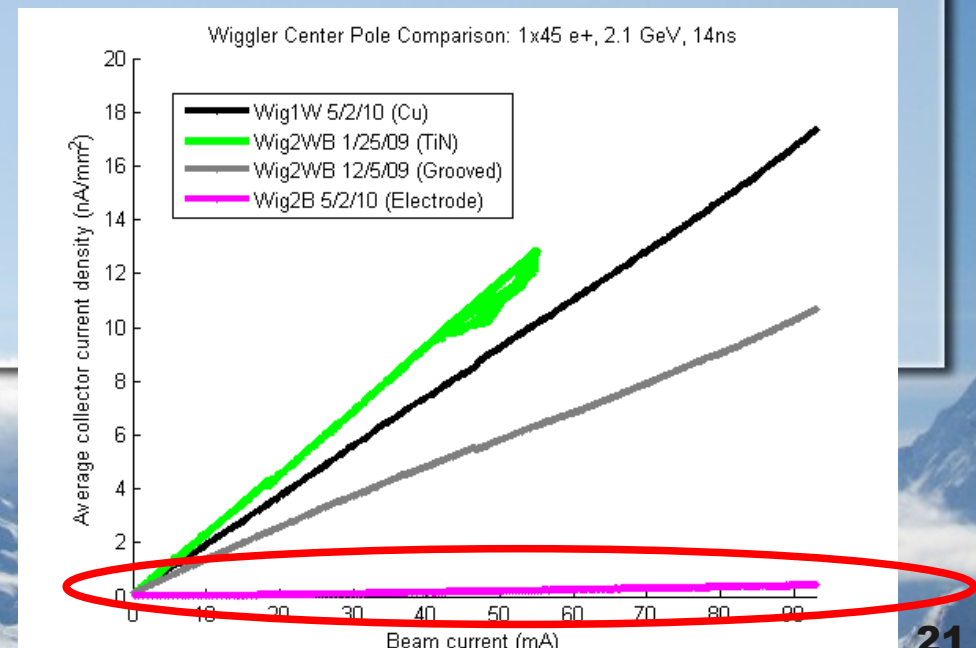
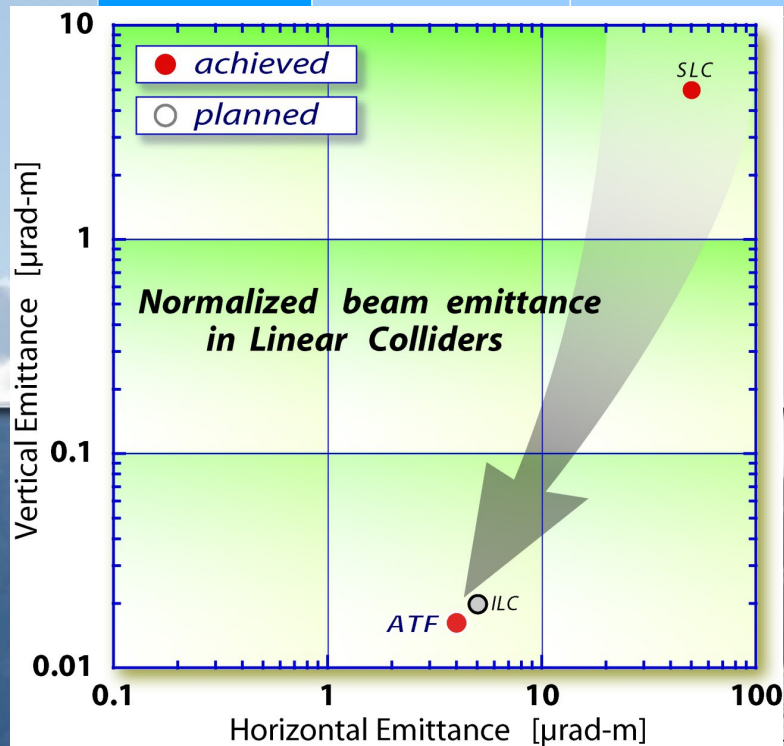
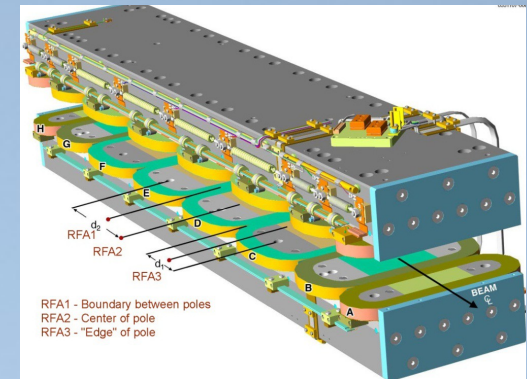
Parameter	Value
Horizontal size	640 nm
Vertical size	5.7 nm
Bunch length	300 $\mu\text{m}$
Vertical Disruption	19.4
RMS energy by BS	2.4%
Horizontal emi.	10 mm.mrad
Vertical emi.	0.04 mm.mrad



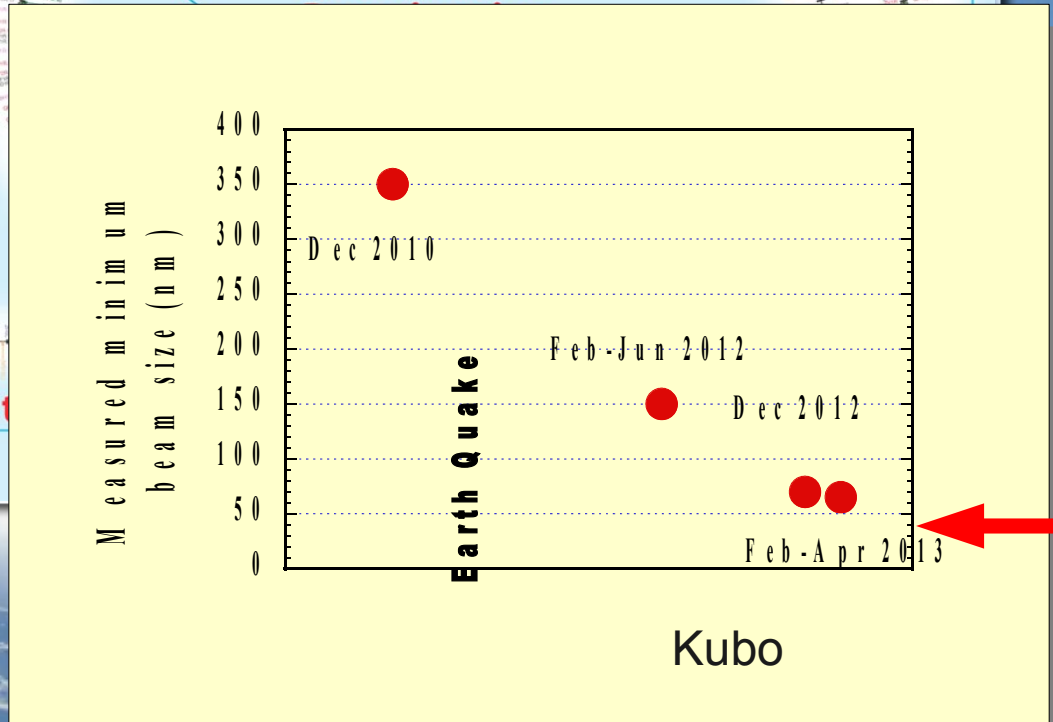
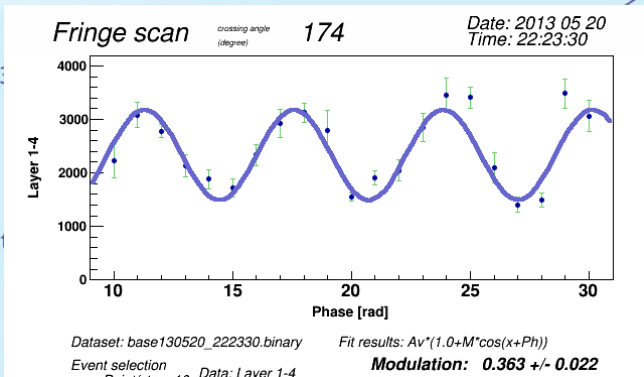
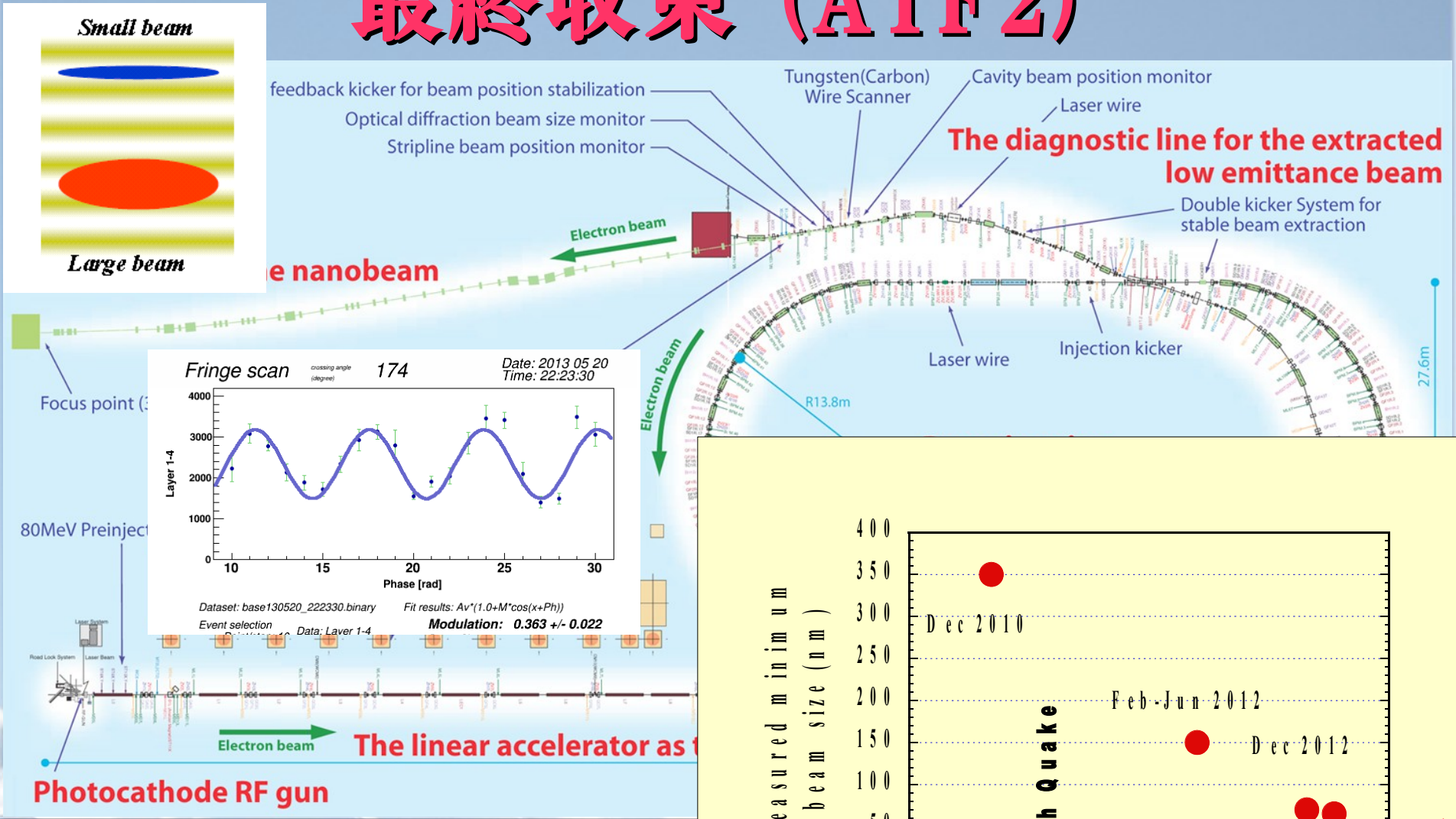
# Damping Ring

- DR make up the beam by radiation damping for high luminosity.
- KEK-ATF demonstrated the low emittance.
- E- cloud instability likely to be suppressed.

Particle	Axis	Injector ( $\mu\text{m}$ )	IP ( $\mu\text{m}$ )
electron	Horizontal	1.0e-5	1.0e-5
	Vertical	1.0e-5	4.0e-8
positron	Horizontal	2.0e-2	1.0e-5
	Vertical	2.0e-2	4.0e-8



# 最終収束 (ATF2)





**ILC,  
The first global project  
in Asia.**

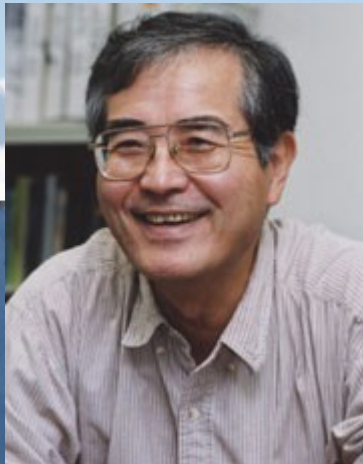
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO  
Image Landsat  
Image IBCAO

# Evolution of LCs

- 2004	GLC	NLC	TESLA	CLIC
2004-2013		ILC		CLIC
2013-		ILC		CLIC

## •ICFA-ITRP (International Technical Recommendation Panel)

- 次世代リニアコライダーの加速技術として超伝導技術を選択。常伝導加速器によるLCを推進していた日本は敗北。
- ILCが世界統一プロジェクトとして発足。
- 戸塚イニシアチブによる素早いキャッチアップ。
- GDE(Global Design Effort)による I L C技術開発と設計



敗北を受け入れ、再起せよ。  
第一回ILCWSを日本で開催せよ。  
ILC設計で主導権を握れ。



2013年 ILC TDR(技術設計書)

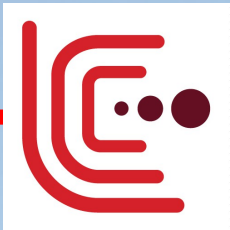
ついに完成！

**THE  
INTERNATIONAL  
LINEAR COLLIDER**  
FROM DESIGN  
TO REALITY

[WWW.linearcollider.org](http://WWW.linearcollider.org)

# Evolution of LCs

- 2004	GLC	NLC	TESLA	CLIC
2004-2013	ILC			CLIC
2013-	ILC			CLIC



LCC (Linear Collider Collaboration)



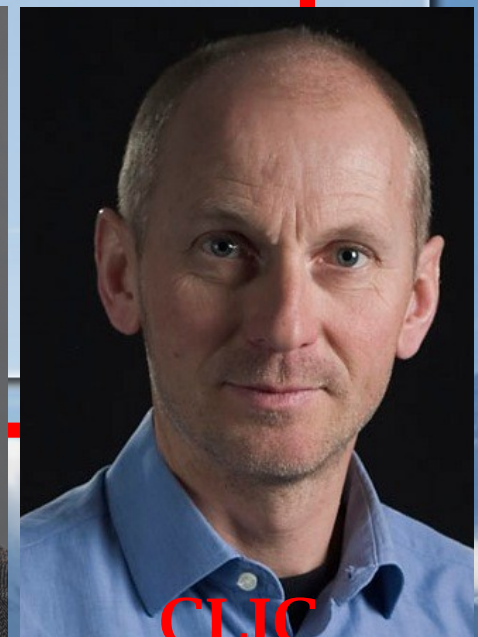
**Director**



**Deputy Director**



**Accelerator**



**CLIC**

# 世界からの期待



European Strategy for Particle Physics



There is a strong scientific case for **an electron-positron collider, complementary to the LHC**, that can study the properties of the Higgs boson and other particles with unprecedented precision and whose energy can be upgraded. (中略) **The initiative of the Japanese particle physics community to host the ILC in Japan is most welcome, and European groups are eager to participate.** Europe looks forward to a proposal from Japan to discuss a possible participation”.

欧州は日本が I L C をホストすることを大歓迎する。  
欧州グループは I L C への参加を熱望する。



CERN should undertake **design studies for accelerator projects in a global context**, with emphasis on proton-proton and electron-positron high-energy frontier machines.

# 世界からの期待

## HEPAP(米国) Facilities sub-panel:

Measuring Higgs properties and searching for Beyond the Standard Model effects are of primary scientific significance. The LHC ... upgrades and the 500 GeV ILC in Japan can address these questions in complementary fashions and are absolutely central to progress in high energy physics. .... e+e-collider at  $\sqrt{s}=500$  GeV in Japan is only lepton collider ready for construction in next decade.... Should an agreement be reached the US particle physics community would be eager to participate in both the accelerator and detector construction.

500GeV電子・陽電子コライダーは、ここ十年内に実現しうる唯一のコライダー。米国コミュニティはILCへの参加を熱望する。

# 地元の期待



dimensions of particle physics  
**symmetry**

home departments science topics image bank archives



北上山地

Courtesy of: ILC Tohoku and ILC Sefuri

signal to background

June 05, 2013

## The ILC through two lenses

Two regions in Japan vying to be the site of the proposed International Linear Collider have produced wildly different promotional videos.

By Kelen Tuttle



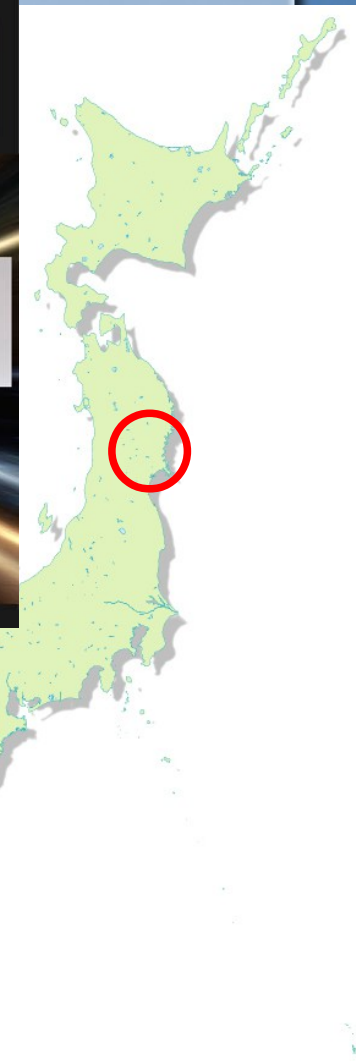
PDF Download

Now that Japan has expressed interest in hosting the International Linear Collider, the next-generation particle collider that will seek to better understand phenomena including the Higgs boson and dark matter, the



参加者募集!

第12回サイエンスカフェ@ふくおか  
「宇宙の謎に迫る」～宇宙を語る～  
★講演ではなく、科学者と語りあう場★



**NHK公開復興サポート明日へ**  
in 東北大学 X Science Cafe  
2/11 (月・祝) 東北大学川内厚生会館

東北大学サイエンスカフェは、毎月「日とんだ」メディアトークを開催しています。  
この日はNHK「日曜朝生」(東北放送)と東北大学(旧東北学院)に合わせ、(1) 科学者インタビューとふくおかカフェ、(2) のスペシャルライブ、(3) 音楽と地盤、(4) ヒッグス粒子のあむせでこのカフェが楽しめます。お好きなテーマで科学しましょう。  
とんだ公開復興サポートは川内北中キャンパス会場内です。

**10:30~**  
サイエンスカフェmin  
検証:「地震に対する心構え(2010)」は役に立ったか?  
出演: 山本 浩一(東北大学) / 山本 浩一(東北大学) / 山本 浩一(東北大学) / 山本 浩一(東北大学)

**12:30~**  
サイエンスカフェスペシャル with JAMSTEC  
「3.11 あのとさ 深海で何が起きたか」～地盤の探査を語る 地球深部探査船「ちきゅう」のたび  
2010年8月、東北大学が2009年の調査で得られた地球深部探査船「ちきゅう」の調査結果が公開された。この調査結果が、3.11の地震にどのような影響を与えたのか、そして、今後の調査にどのような役割を果たすのか、山本浩一先生とJAMSTECの山本浩一先生と対談する。この対談は、東北大学のサイエンスカフェで公開される。

**14:30~**  
サイエンスカフェ  
国際リニアコライダー計画  
～ヒッグス粒子と宇宙創成の謎に迫る～  
宇宙の誕生からヒッグス粒子の発見まで、ヒッグス粒子の謎に迫る。宇宙の誕生からヒッグス粒子の発見まで、ヒッグス粒子の謎に迫る。宇宙の誕生からヒッグス粒子の発見まで、ヒッグス粒子の謎に迫る。

2013年8

市民

研究者

自治体

産業界

各々の立場で、各々の目的のため、ILCを推進。  
相互理解、全てのセクターの目的が満たされることが重要。

**ILC立地評価会議が日本のサイト候補を選定中**

技術専門委員会

社会環境基盤専門委員会

川越（九大）、山本（東北大）共同議長による運営。答申はこの夏。

# ILC実現への道

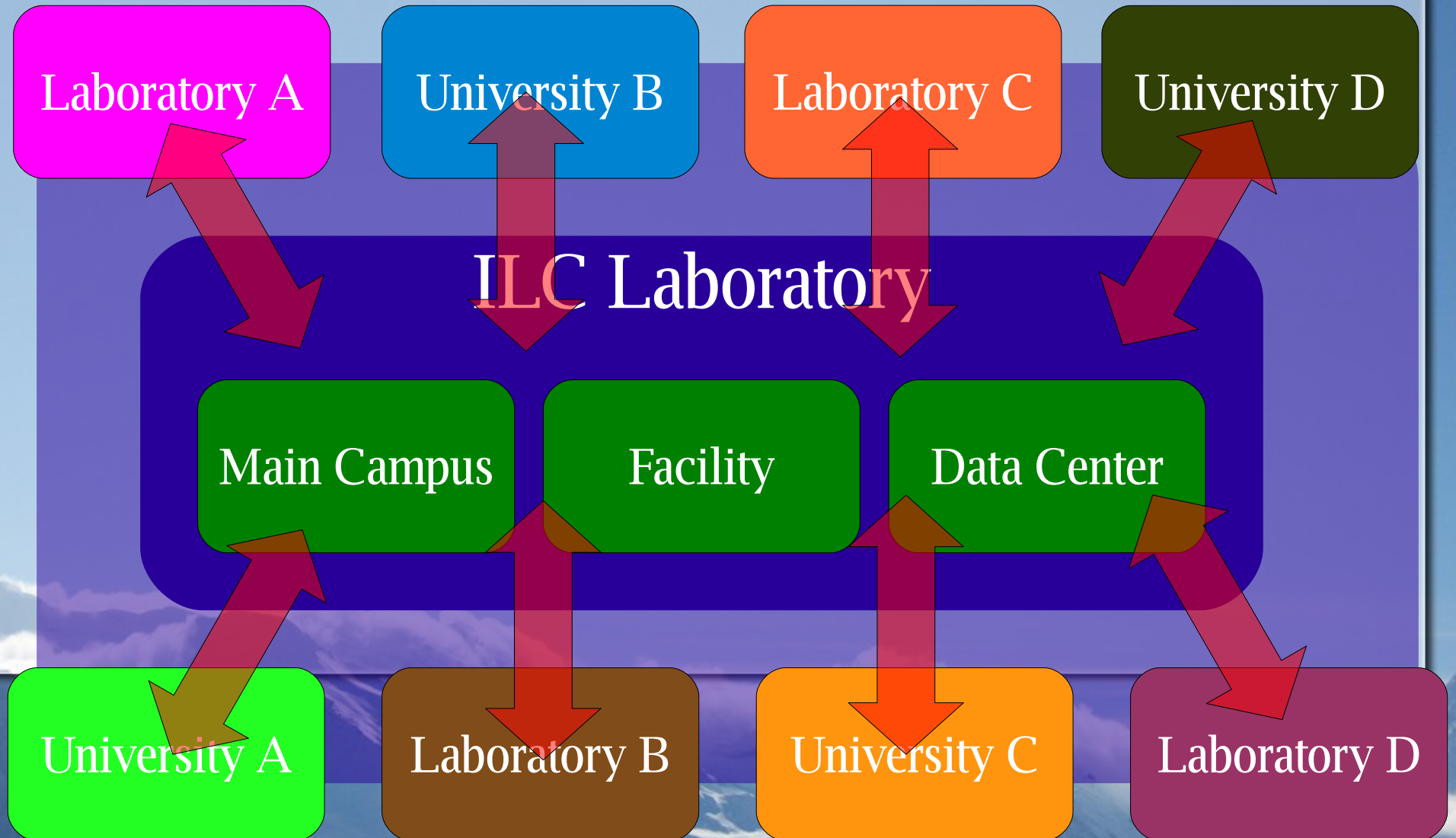
- 競争的に建設することはコスト的に不可能。世界が協力して建設するしかない。
- 世界は日本がホストすることを望んでる。
- そしてそれは新しい国際協力の形である。

“In the flat world that is taking shape, leadership ... no longer consists of single-handed efforts to maintain dominance in a particular field. Rather, leadership emerges from the creativity and initiative needed to organize international teams of collaborators to pursue projects that are beyond the capability of any one country.”

Harold Shapiro, Charting the Course for Elementary Particle Physics, NRC, 2006

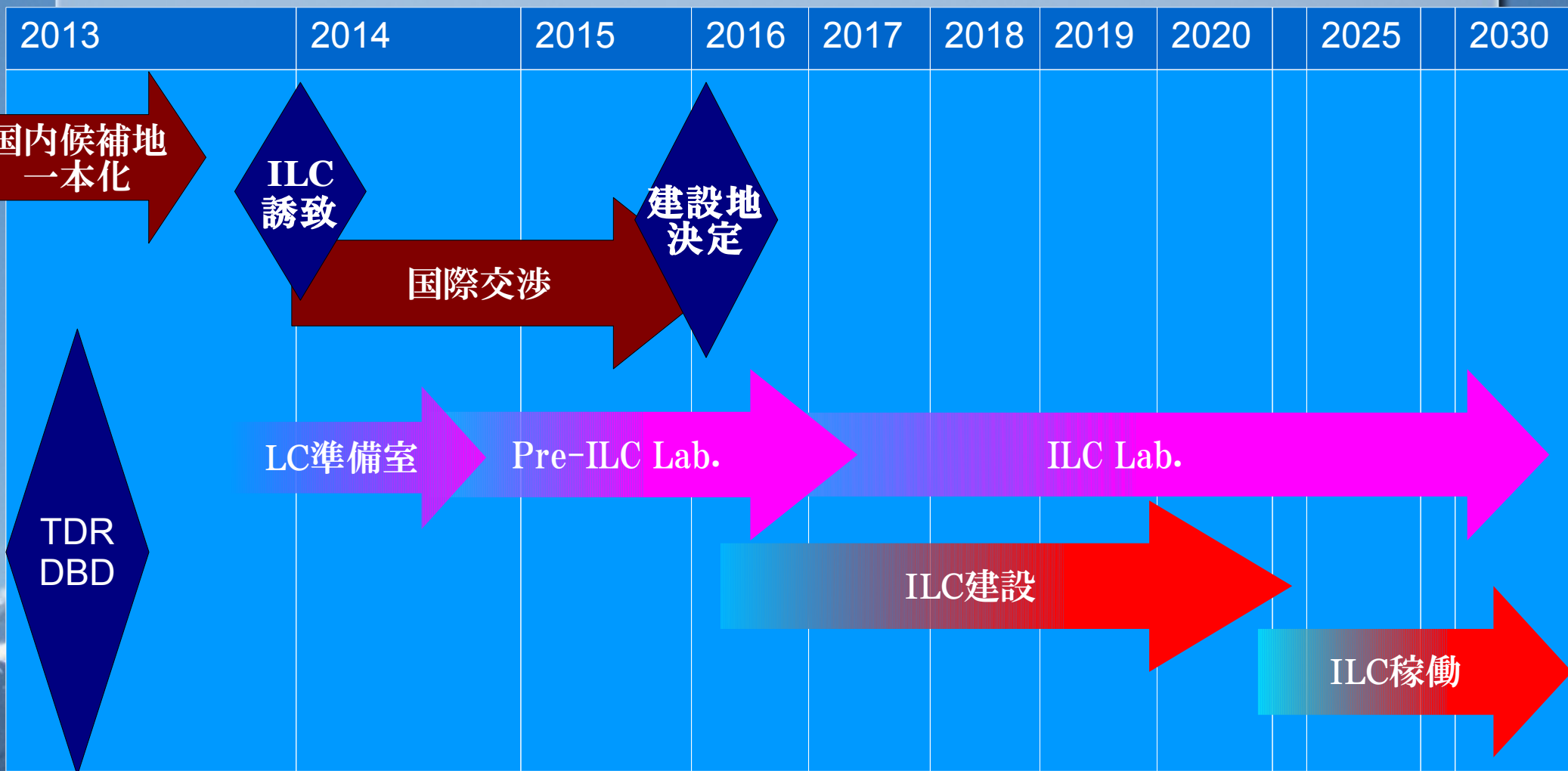
国際チームを束ね、単独の国の能力を超えたプロジェクトを実現するのが新しい時代のリーダーシップ

# 多国籍研究所(Multilateral Lab)





# ILC timetable





## Host Nation



- We need to think more broadly
  - CERN was founded on the ashes of war by a set of visionary physicists
    - And today, we are beneficiaries of their foresight

CERNは世界大戦の瓦礫の上に、平和のための科学実現を目指して設立された。今日、その恩恵を我々は大いに享受している。



1954年設立



## Host Nation

---



- So perhaps today, at the dawn of the Asian century, the world needs Japan, China, Korea, India, Vietnam all collaborating on a peaceful endeavor

アジアの夜明けと言われるこの時代に、  
日本をはじめとするアジア諸国は、  
科学研究を通じ平和へと旅立つべきではないか。

- Where else but science could these nations meet on common ground?

# まとめ

- リニアコライダーは高エネルギーへの扉をひらく次の多段ロケットである。
- リニアコライダーでは、非対称極小ビーム、偏極が重要。
- 名古屋大学SP研究室は、世界で初めて50%を大きく越える偏極度を実現し、ILC実現に大きく貢献。
- ILCはアジア初のグローバルプロジェクトとして、世界から期待されている。
- 地元でも政府、市民、企業、そして研究者が一体となり、誘致に取り組んでいる。
- ILCは地域の平和と発展に寄与するとともに、科学研究の拠点として大きな成果をあげなくてはならない。

**そしてそれは可能である。**