

高エネルギー加速器 の展望

大西 幸喜

高エネルギー物理学将来計画検討小委員会タウンミーティング
『コライダー加速器による高エネルギー物理学の将来展望』

名古屋大学

2011.09.10

2020-2030年の高エネルギー実験

- 2020-2030年の高エネルギー実験は？
 1. リニアークライダー*である。
 2. リニアークライダーでない場合、国内プロジェクトは？
- 1を選択した場合、2015年頃には建設開始でなければ難しい。
- 但し、国内では~2020年までJ-PARC/SuperKEKBとの掛け持ちは非常に困難であると予想される。
- SuperKEKB/J-PARC/ATF/STFで培われた技術を、どのようにしてリニアークライダーに繋げていくか？

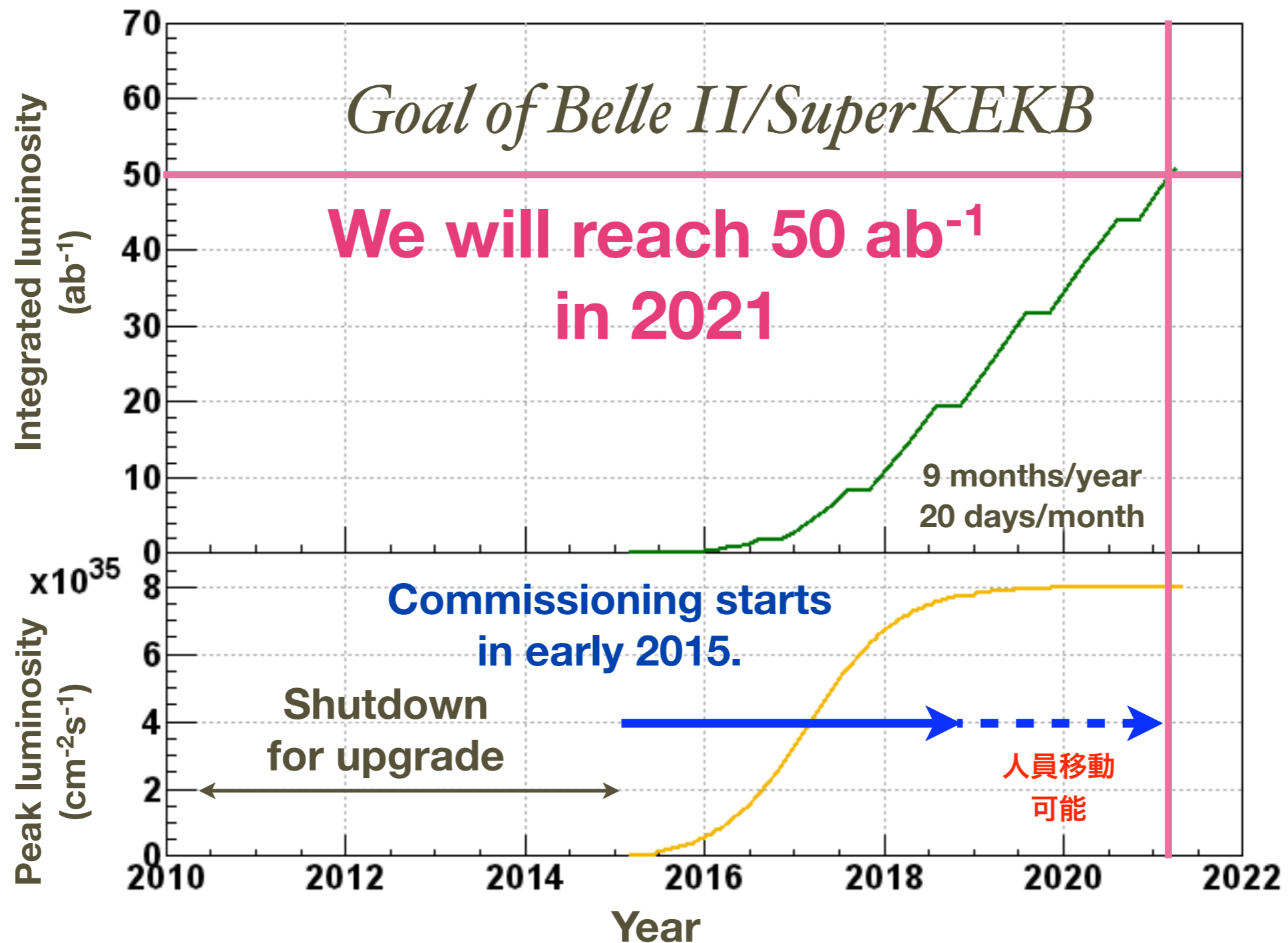
*リニアークライダー：陽電子・電子衝突型直線加速器の総称

加速器のマンパワー (FTE)

加速器	現状 (人)	必要数 (人)	期間
SuperKEKB	56 (リング) 30 (入射器)	80 (リング) 45 (入射器)	2011-2021
J-PARC (中期計画)	60	60	2013-2017?
ILC	53 (国内) 270 (海外)	300-800 (建設) 200 (運転)	?
CLIC	< 5 (国内) 100 (海外)	?	?
LHC upgrade (HL)	? (CERN主体)	? (CERN主体)	2017-2030?

Luminosity Projection for SuperKEKB

90%の目標に到達していれば、30%程度の人員移動は可能かも？
SuperKEKBはKEKBよりも非常に難しい加速器、2019年以降？



J-PARCの展望

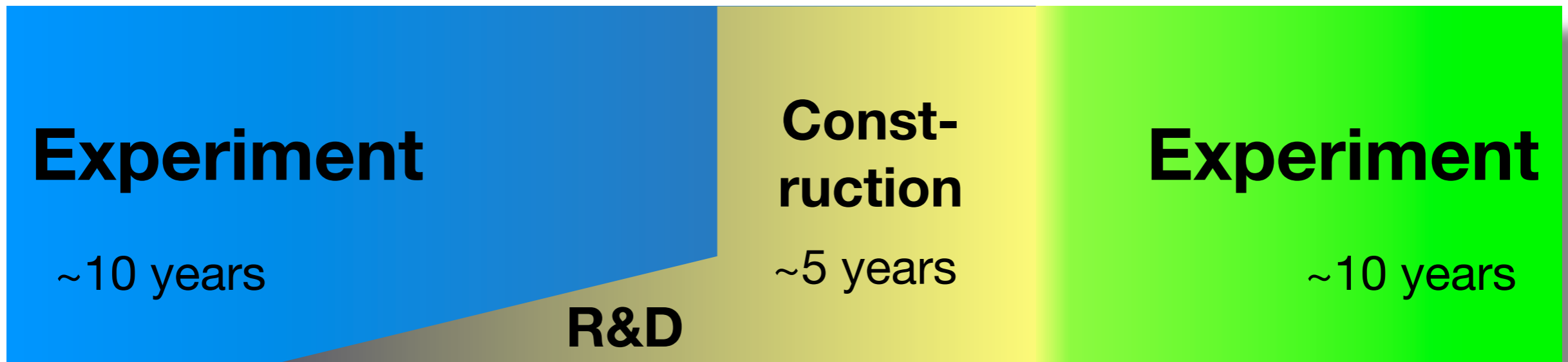
J-PARCタウンミーティング
小関氏のスライド参照

- 2011～2013年度末 RCS: 400 kW(MLF) / MR: 300 kW(FX), 50 kW (SX)
- 2014年～?
 - RCS: 1MW利用運転(MLF)、さらなる大強度化
 - MR: 450 kW (30 GeV) の利用運転
- 長期計画 (?～?、ブレイン・ストーミングの段階)
 - Linac: 600 MeV/50 Hz運転 (with SC linac)
 - RCS: 600 MeV入射/50 Hz運転を検討中
 - MR:
 - FX: 1.7MW/3.4MW出力(Second Booster Ring: 6-8 GeV 追加)
 - SX: ストレッチャー案による性能向上、ロス低減

これを定義しないと
将来計画の全体像が
ボヤケる

実験フェーズ

TRISTAN - KEKB - SuperKEKBの場合



実験を継続していくことが唯一、人材育成および技術継承に繋がる。

実験と実験の間に空白期間が発生するのは仕方ないが、
5年以上となると厳しい。

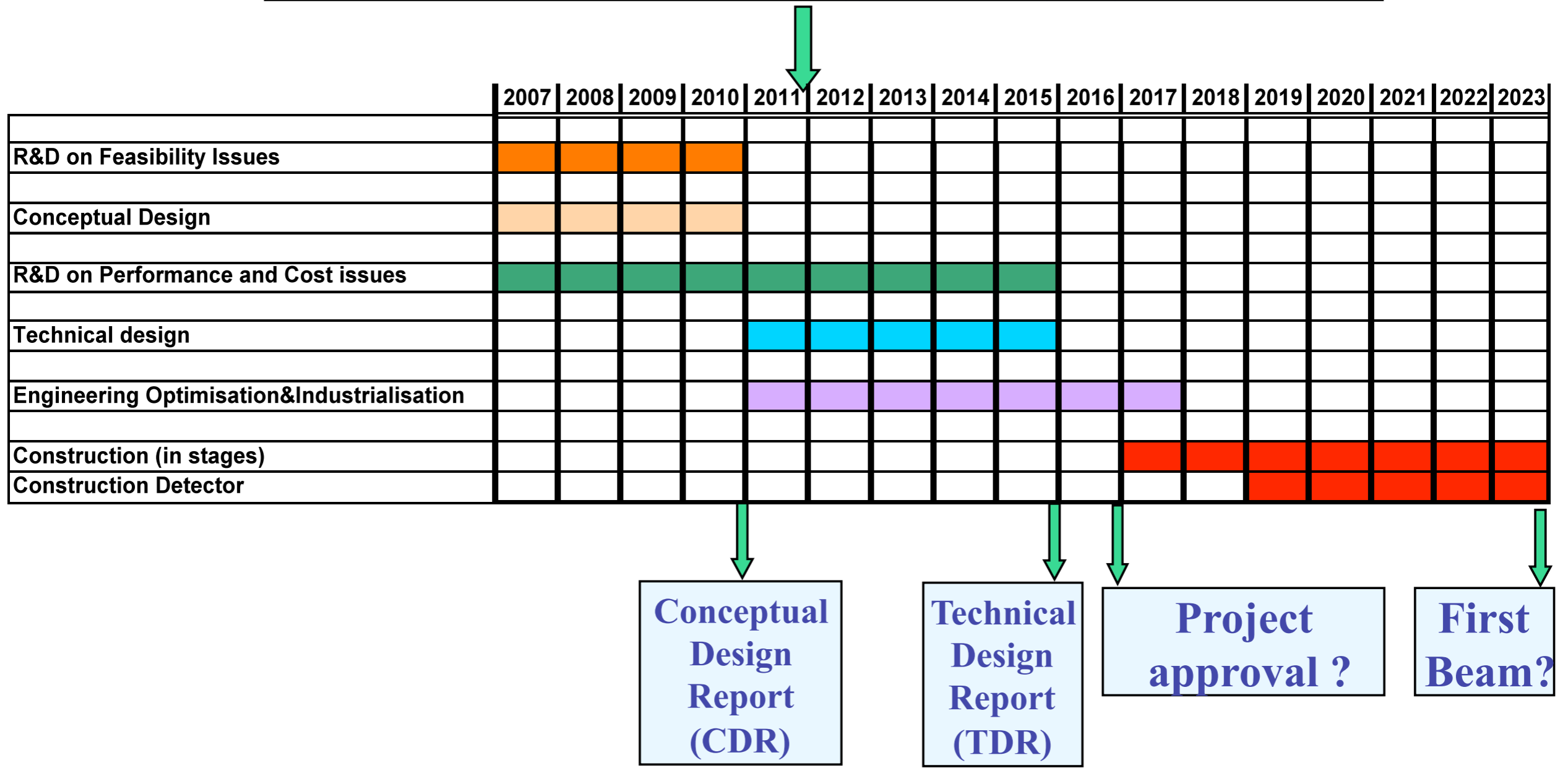
リニアークライダー実験

	SLC	ILC	CLIC	Unit
Technology	NC	SC	NC	
CMS Energy	92	500	500	GeV
Energy extension	-	0.5 → 1	0.5 → 1 → 3	TeV
Total length	3.2+arc	31 → 53	13 → 20 → 48	km
Gradient	20	31.5	80-100	MV/m
RF frequency	2.8	1.3	12	GHz
Charge/pulse	6.4	8400	386	nC
Repetition	120	5	50	Hz
Luminosity	3×10^{30}	2×10^{34}	2.3×10^{34}	$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
Power consumption	?	230	129 (x2?)	MW

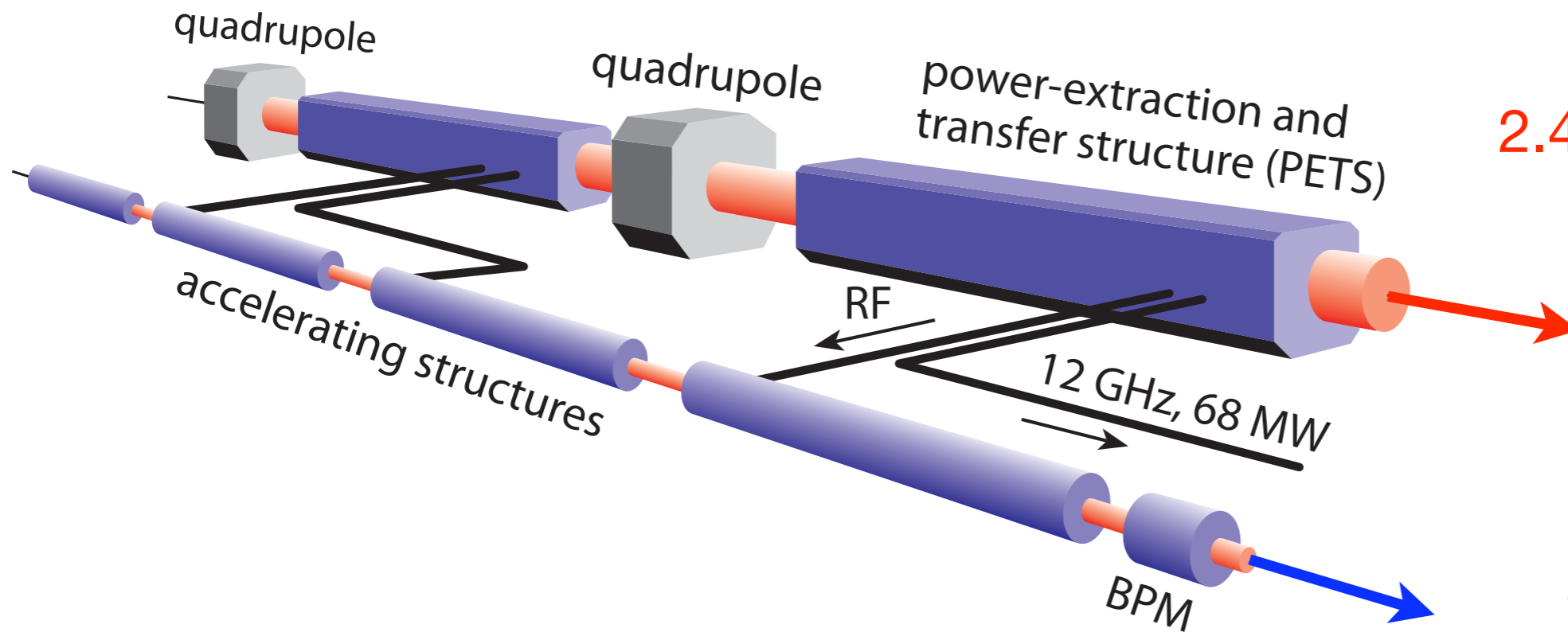
Tentative long-term CLIC scenario

Shortest, Success Oriented, Technically Limited Schedule

Technology evaluation and Physics assessment based on LHC results for a possible decision on Linear Collider with staged construction starting with the lowest energy required by Physics



CLIC - Two-beam acceleration-

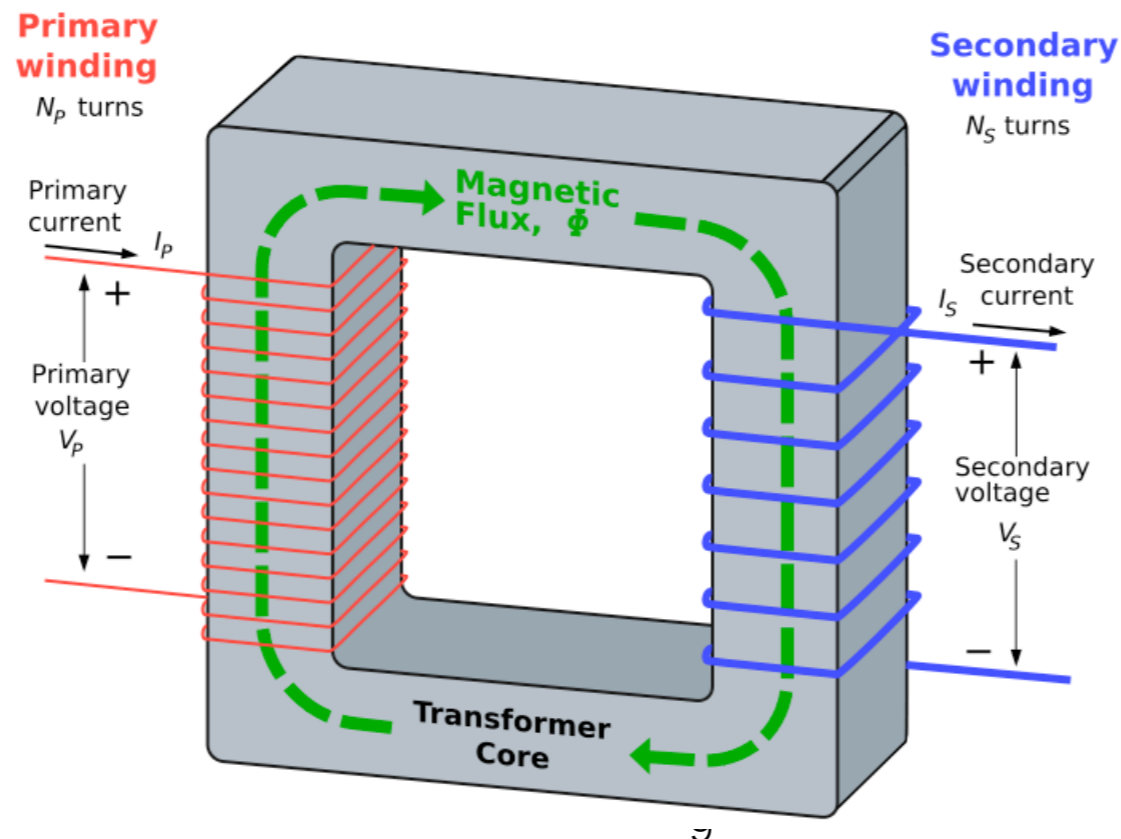


101 A/240 ns
 2.4 GeV → 240 MeV
 High Current
 Low Energy

1 A/156 ns
 9 GeV → 1.5 TeV
 Low Current
 High Energy

Wave guide with RF = Transfer core

High Current,
 Low Voltage



Low Current,
 High Voltage

Ref.: F. Tecker

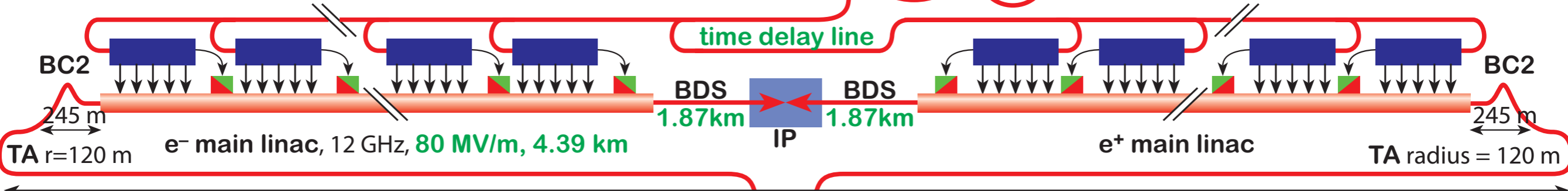
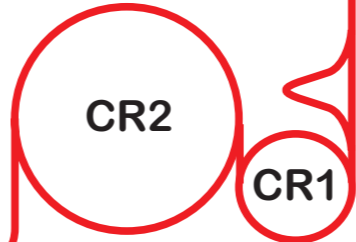
- only one DB complex
- shorter main linac

Drive Beam Generation Complex

circumferences
delay loop 73.0 m
CR1 292.2 m
CR2 438.3 m

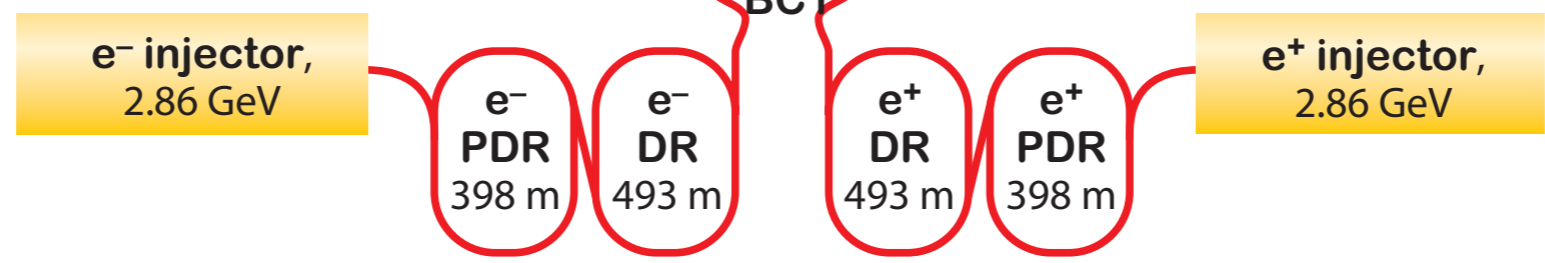
797 klystrons
15 MW, $2 \times 29 \mu\text{s}$
drive beam accelerator
2.38 GeV, 1.0 GHz
2.5 km

Drive beam



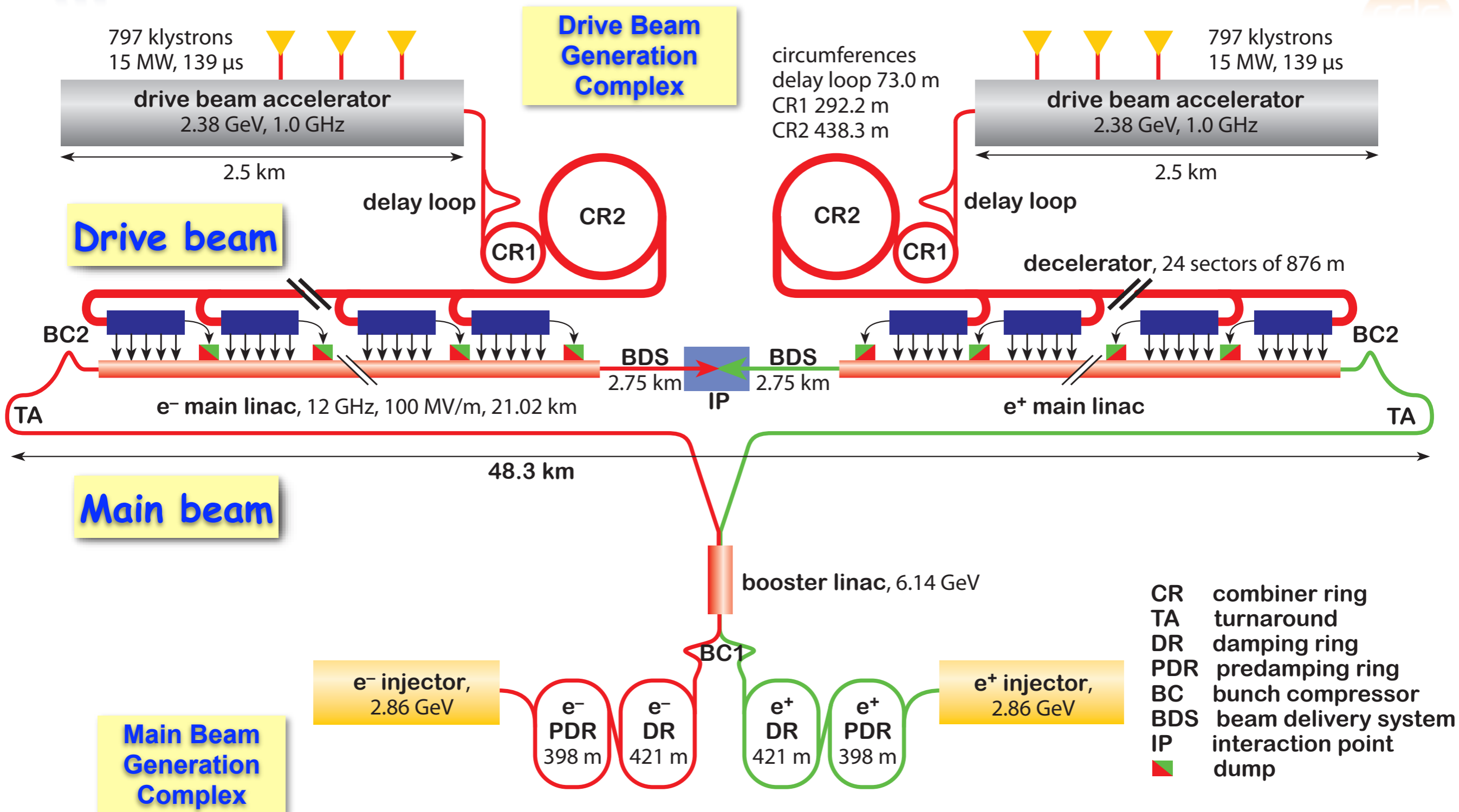
Main beam

booster linac, 6.14 GeV



Main Beam Generation Complex

- CR combiner ring
- TA turnaround
- DR damping ring
- PDR predamping ring
- BC bunch compressor
- BDS beam delivery system
- IP interaction point
- dump



LCにおけるエネルギー拡張

- ☑ トンネル延長および加速勾配の向上
- ☑ DR(damping ring)、CR(combiner ring)は衝突点付近に置いて、ビームを長い輸送路でメイン・ライナック始点まで運ぶ (ILC・CLIC共通)
- ✳ ILC (500 GeVベースライン) の場合、1 TeVまで行くには、
 1. 11 km x 2 → 22 km x 2 (トンネルを2倍に延長)
 2. 31.5 MV/m → 63 MV/m (勾配を2倍 > 55 MV/m: material limit)
 3. 45 MV/m & 15.4 km x 2 (勾配を可能な限り上げる、総取替え)
 4. 31.5 + 45 MV/m & 18.7 km x 2 (既存加速器に高勾配空洞追加)
- ☑ とにかく、コスト・時間がかかる。1 TeV以上はCLICが有利。

Higgs Mass

ATLAS and CMS have excluded the existence of a Higgs over most of the mass region **145 to 466 GeV** with 95 percent certainty.

(CERN Press Release PR14.11 22.08.2011)

19年も昔

Y. OHNISHI

UT-ICEPP 93-01
January 1993

素粒子物理国際センターシンポジウム
(平成4年12月17-18日 於東京大学)

From LEP to the Planck Scale

— LEP からプランクスケールに向けて —

トランスペアレンシー集

ICEPP

International Center for Elementary Particle Physics
Faculty of Science, University of Tokyo
Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113 Japan

小柴先生のConclusion

独断と偏見による提言

(1) 300 GeV JLC は一刻も早くつくれ。
Asy. B, SSC, LHC, ...

(2) ニュートリノ {
CMB
SNIa
Solar
Atmos.
Oscillation

(3) SUSY 粒子は real?

(4) 暗黒物質ガンバって下でい。
それは DOUGHNUTS を導く
見れば、後には宇宙を導く
やうなもって。

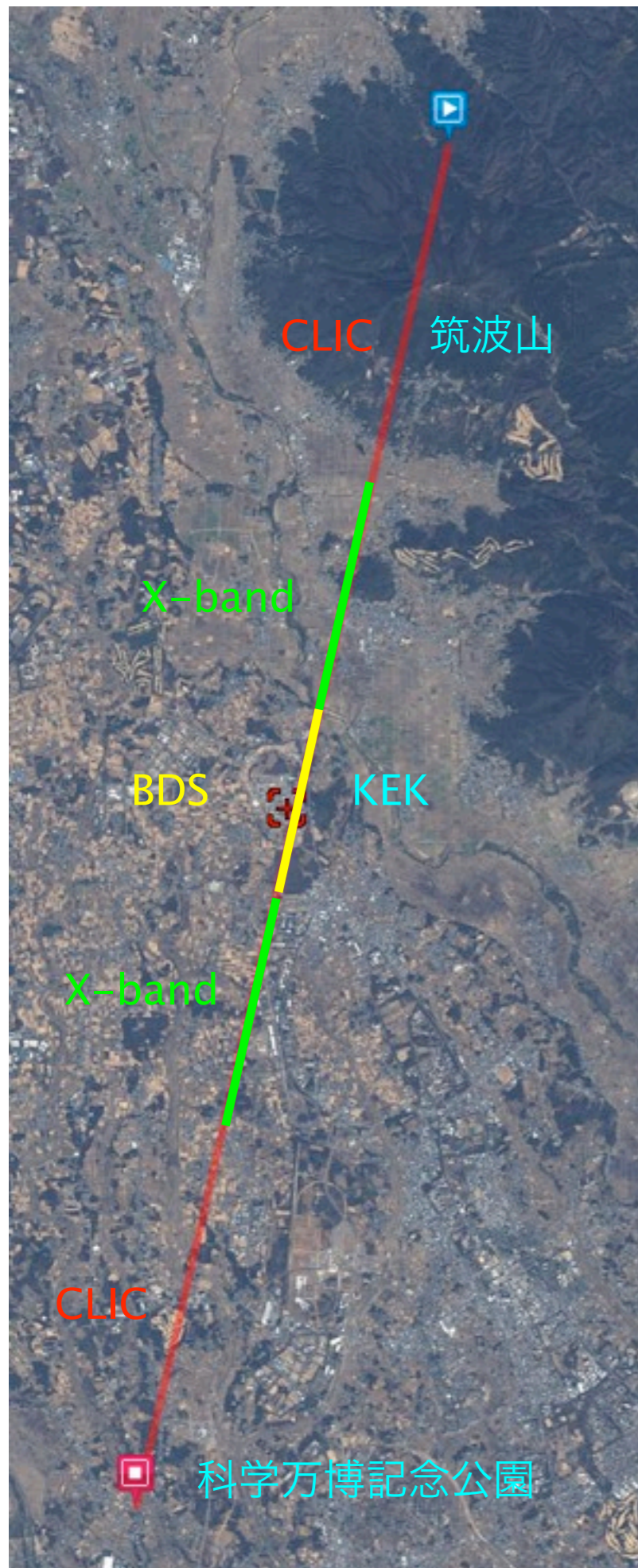
—281—

高エネルギー加速器

- ▶ $E_{\text{CMS}} = 500 \text{ GeV}$ 程度で早くやりたいならILC。
- ▶ $E_{\text{CMS}} > 1 \text{ TeV}$ を目指すならCLIC (NP狙い) 。
- ▶ $E_{\text{CMS}} = 260 \text{ GeV}$ ($m_{\text{H}} = 130 \text{ GeV}$)
 - 📍 ILCの陽電子源がヘリカル・アンジュレーター方式の場合、150 GeVの電子ビームが必要なので苦しいかも。
 - 📍 JLCの復活？ Cバンドは十分な技術成熟度に到達している感じがする (個人的感想) *。
 - 📍 将来、エネルギー増強のために XバンドにしてCLICを繋げるのも良いかも知れない*。

*要検討

From Low Energy to 1 TeV Linear Collider

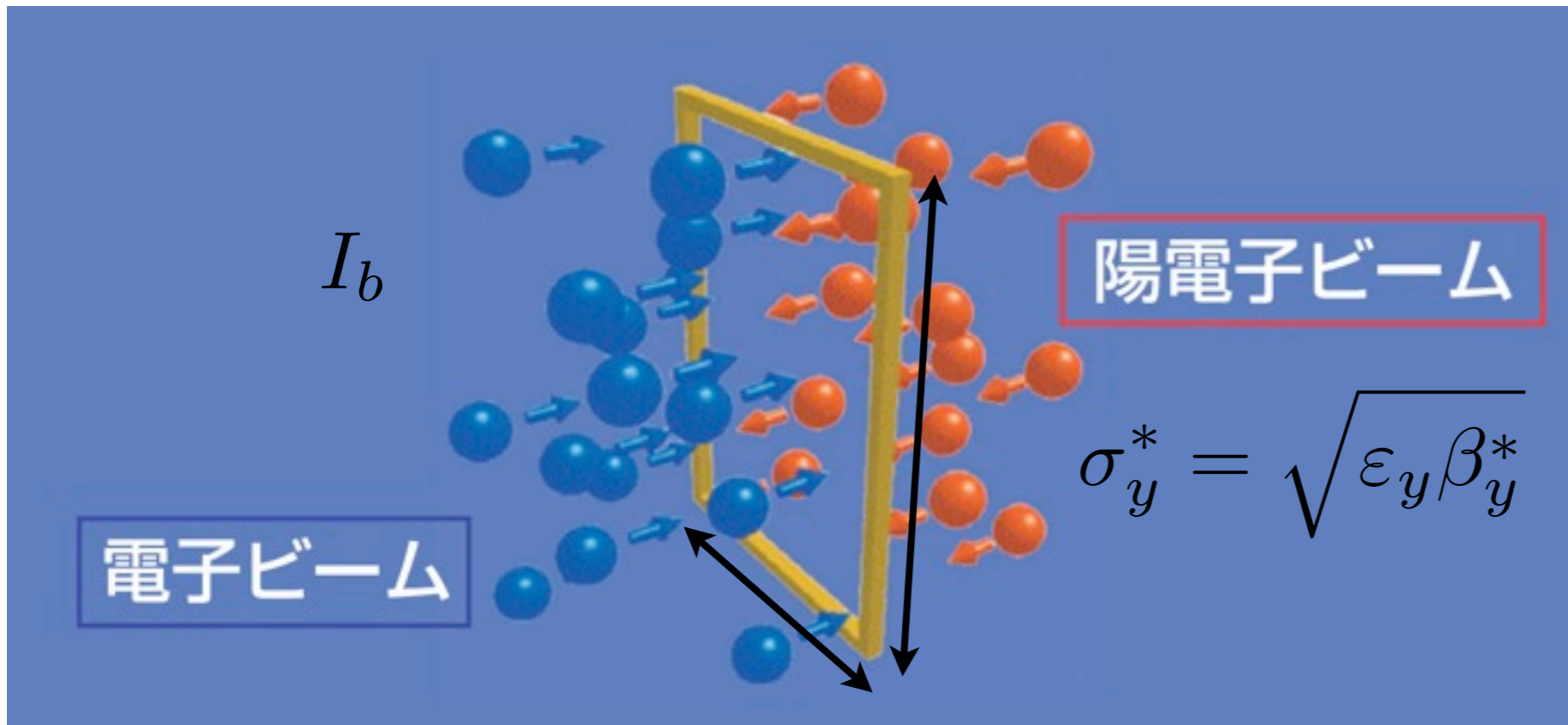


1st stage: $E_{CMS} = 260 \text{ GeV}$
X-band (klystron-RF: 50 MV/m)
全長 : 10 km (inc. BDS)

2nd stage: $E_{CMS} = 1 \text{ TeV}$
1st stage + CLIC Technology (80 MV/m)
全長 : 23 km (inc. BDS)

SuperKEKBしかない場合

ルミノシティを決める3パラメータ



電流 I_b

ビーム・ビーム
パラメータ

$$L \propto \frac{I_b \xi_y}{\beta_y^*}$$

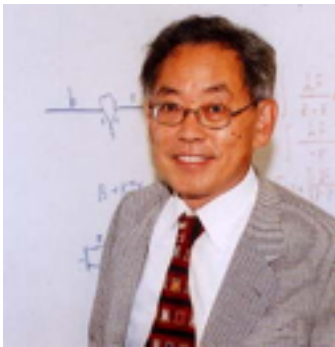
垂直ベータ関数
@衝突点

$$\sigma_x^* = \sqrt{\epsilon_x \beta_x^*}$$

$$\xi_y = \xi_y(\epsilon_x, \epsilon_y, \beta_x^*, \beta_y^*, I_b, \dots) < \text{beam-beam limit}$$

対称エネルギーであるかどうかは本質的ではない。

ルミノシティはエネルギーに比例する。



10³⁷の可能性：ナノ・ビームの延長

垂直ベータ関数を1/10、エミッタンスを1/20にする。

ビーム・ビーム = 0.18 >> 0.09 (beam-beam limit)

LumiPanel 09/05/2011 18:41:42 Help

Luminosity: 100.0296 x10³⁵ cm⁻²s⁻¹

	Value	Min.	Max.	Value	Min.	Max.	
LER				HER			
ϵ_{xL} :	.2500	.0000	INF nm	ϵ_{xH} :	.2000	.0000 6 nm	
β_{xL} :	14.0000	.0000	INF mm	β_{xH} :	13.0000	.0000 INF mm	
$\epsilon_{yL} / \epsilon_{xL}$:	.2500	.2000	.6 %	$\epsilon_{yH} / \epsilon_{xH}$:	.2500	.2000 .7 %	
β_{yL} :	.0270	.0100	INF mm	β_{yH} :	.0280	.0100 INF mm	
ξ_{xL} :	.0013	.0000	INF	ξ_{xH} :	6.9263E-4	.0000 INF	
ξ_{yL} :	.1804	.0800	INF	ξ_{yH} :	.1193	.0800 INF	
I_L :	3.6000 A			I_H :	2.6000 A		
σ_{zL} :	6.0000 mm			σ_{zH} :	5.0000 mm		
E_L :	4.0000 GeV			E_H :	7.0070 GeV		
σ_x :	1.871 μm	σ_y :	4.108 nm	σ_x :	1.612 μm	σ_y :	3.742 nm
θ_{xh} :	41.5000	41.500	41.5 mrad	N_b :	2500.0000	2500.0	2600

Working File: ~/.lum/lastoptimum

Calculate Optimize

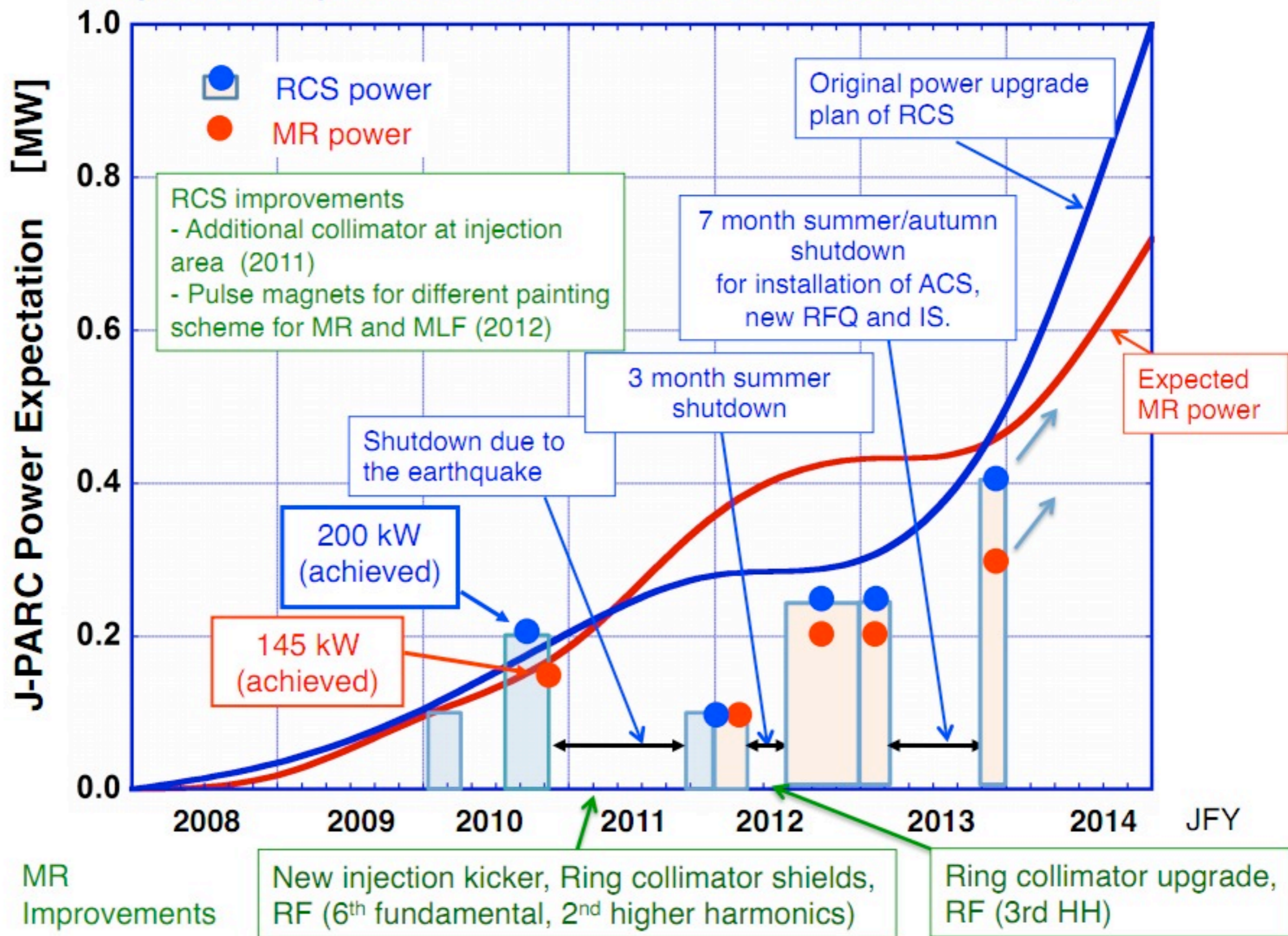
サイズが文字通り
ナノ・ビームとなるのだが

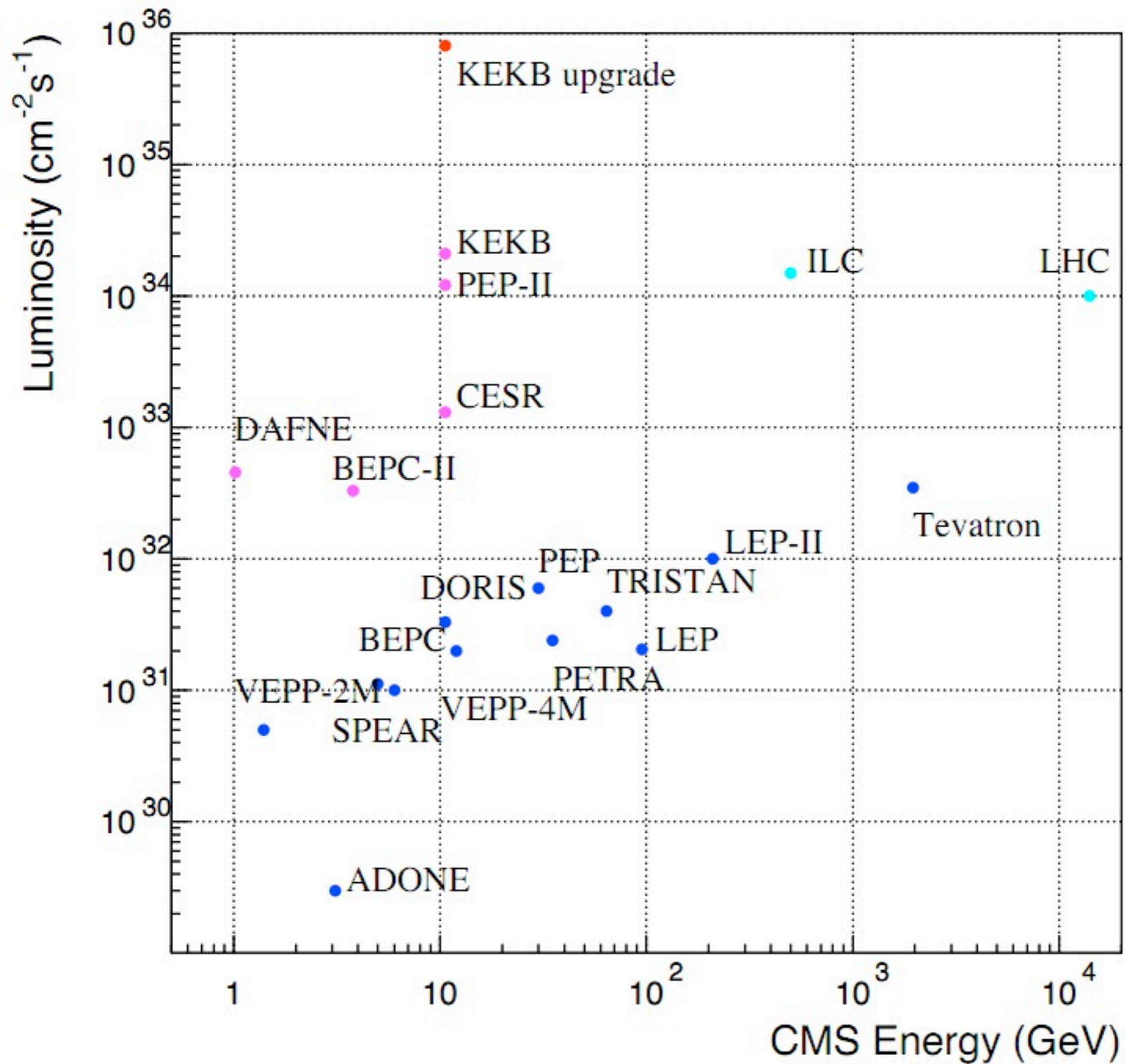
メッセージ

- 国内プロジェクトとリニアコーライダーを論ずる場合、
 - ・リニアコーライダーか否か？
 - ☑ リニアコーライダーを選択した場合、実験時期を早く確定する。逆算から建設時期が決まる。技術成熟(Technology Readiness)のdead-lineも見えてくる。
 - ☑ 否の場合、
 - 📍 まだ、 $L=10^{37}$ のアイデアがない (TRL = 0) 。
 - 📍 ニュートリノに専念？
 - ・国内プロジェクトの進め方に無頓着ではいけない。誰かが、いつかやってくれるのを待っているだけでは進まない。

Appendix

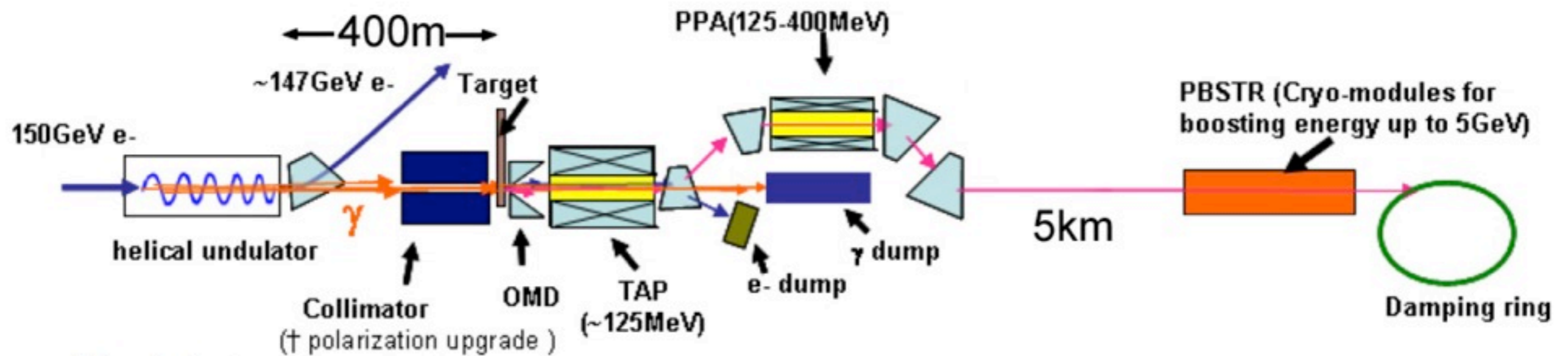
Operation plan of RCS/MR-FX: made after the earthquake



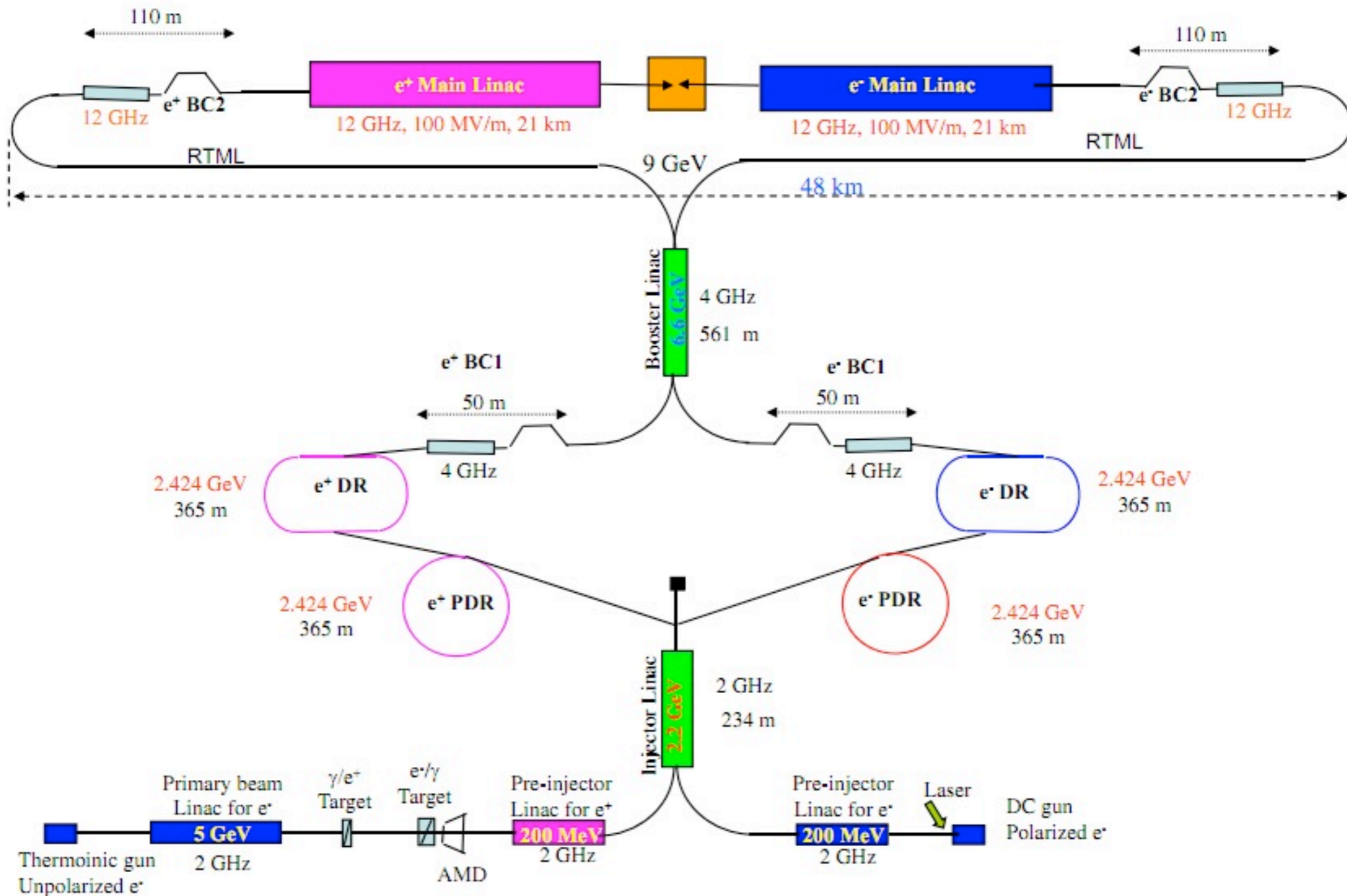


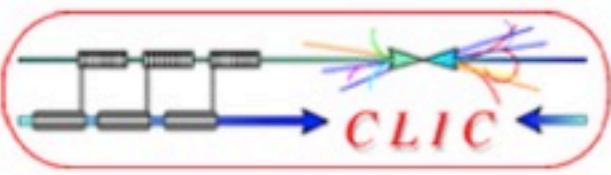
ILC 陽電子源

電子ビームのエネルギー150 GeV必要
長さ100 mの超伝導ヘリカル・アンジュレーター
円偏光 γ 線から対生成で偏極陽電子を生成
電子ビームは衝突点へ



CLIC Injector



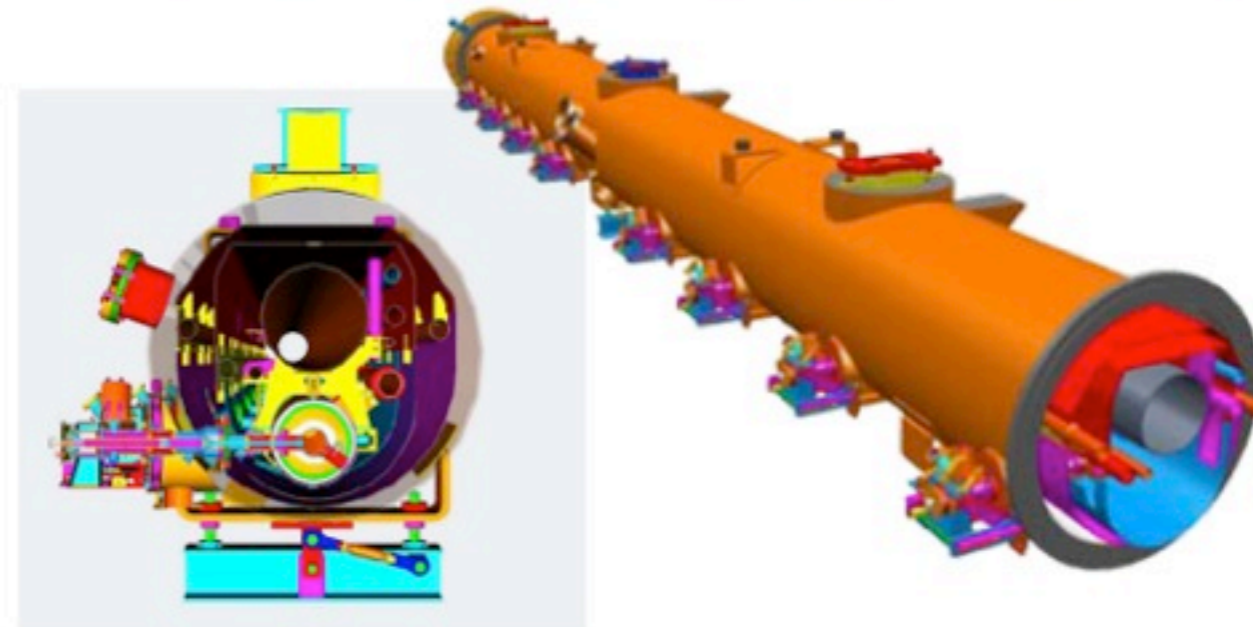


ILC Main Linac RF Unit

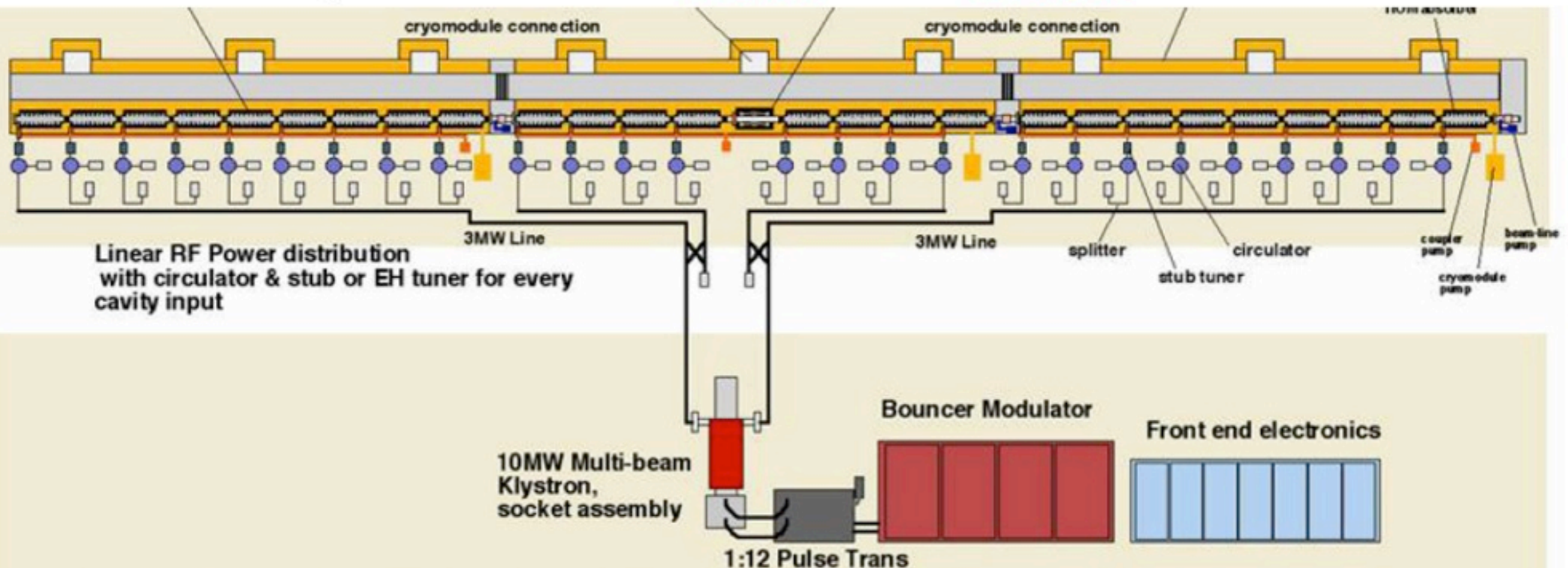


560 RF units each one composed of:

- 1 Bouncer type modulator
- 1 Multibeam klystron (10 MW, 1.6 ms)
- 3 Cryostats (9+8+9 = 26 cavities)
- 1 Quadrupole at the center



Total of 1680 cryomodules and **14 560 SC RF cavities**



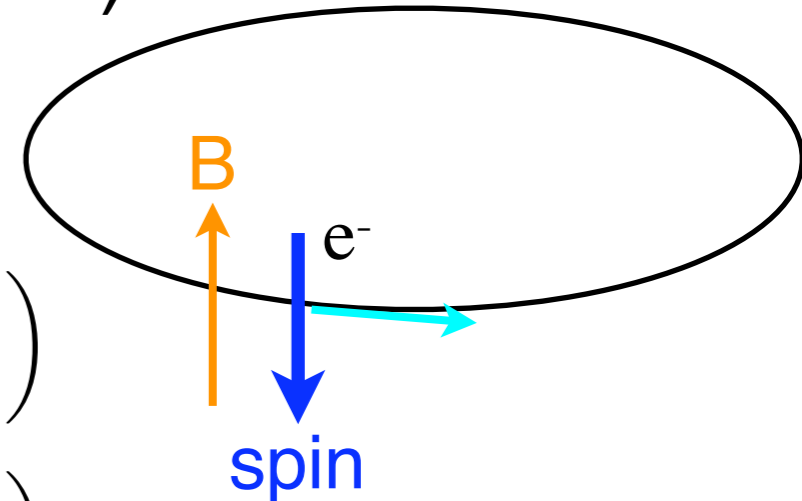
衝突型円形加速器における偏極ビーム

- Sokolov-Ternov effect (synchrotron radiation)

spin flip

$$e^- \xrightarrow{\text{spin flip}} e^- + \gamma$$

+1/2	-1/2	+1	$R_{\uparrow\downarrow} = \frac{5\sqrt{3}}{16} \frac{e^2 \gamma^5 \hbar}{m_e^2 c^2 \rho^3 } \left(1 + \frac{8}{5\sqrt{3}}\right)$
-1/2	+1/2	-1	$R_{\downarrow\uparrow} = \frac{5\sqrt{3}}{16} \frac{e^2 \gamma^5 \hbar}{m_e^2 c^2 \rho^3 } \left(1 - \frac{8}{5\sqrt{3}}\right)$



SuperBの場合、
5-7時間かかるので
偏極電子をLERに入射。

P ~ 70 %

- Depolarization
 - Radiative depolarization (Thomas-BMT effect)
 - Beam-beam effect
- Spin rotator (+ 光学系設計) : solenoid
 - 衝突点でspinが進行方向に向くようにする。