

# KEK 7 GeV 電子陽電子入射器の 20 万時間運転の達成

古川和朗、明本光生、阿部哲郎、荒川大、荒木田是夫、飯田直子、池田光男、岩瀬広、  
 惠郷博文、榎本収志、榎本嘉範、大越隆夫、大沢哲、岡安雄一、小川雄二郎、  
 柿原和久、梶裕志、片桐広明、紙谷琢哉、川村真人、佐武いつか、佐藤政則、設楽哲夫、  
 周翔宇、白川明広、杉村仁志、諏訪田剛、清宮裕史、染谷宏彦、竹中たてる、田中窓香、  
 張叡、邱丰、峠暢一、中島啓光、夏井拓也、東保男、肥後寿泰、本間博幸、松下英樹、  
 松本修二、松本利広、三浦孝子、三川勝彦、宮原房史、矢野喜治、横山和枝、吉田光宏

## 要旨

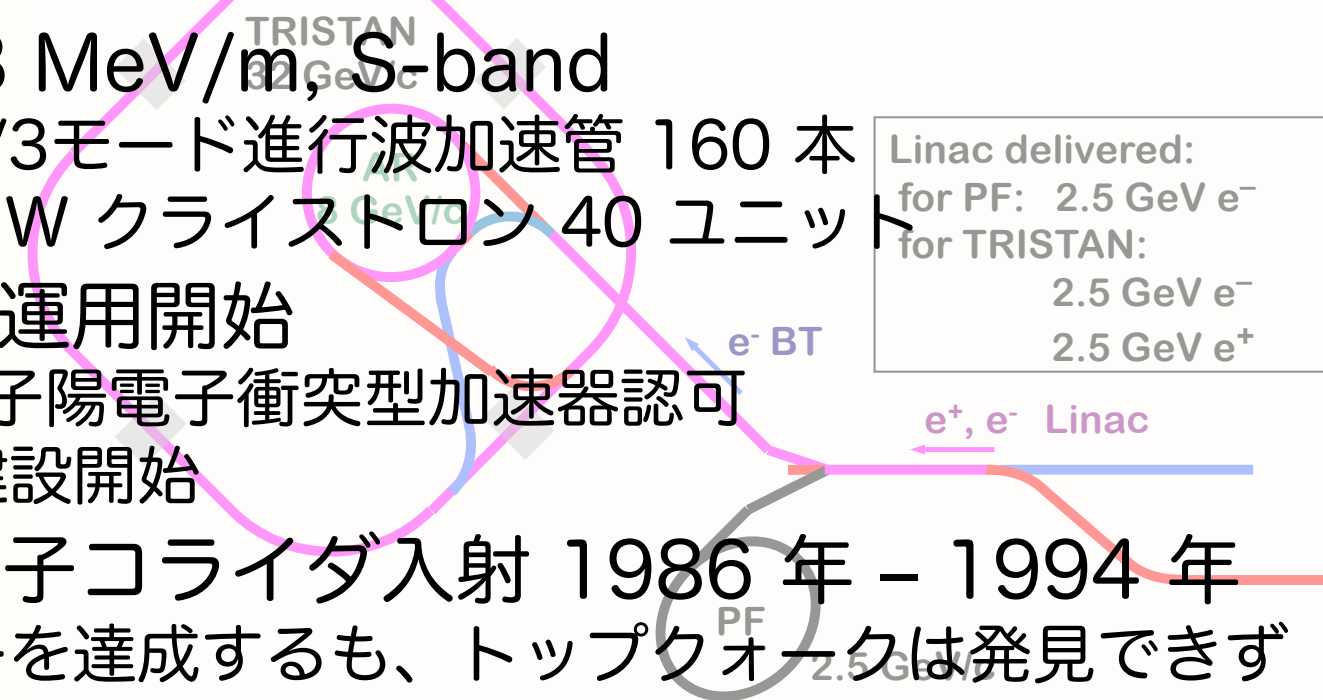
KEK電子陽電子入射器は、1982年からフォトンファクトリー(PF)放射光実験施設への電子入射運転を始めた。以来、TRISTAN、PF-AR、KEKB、SuperKEKBへの入射を重ね、運転期間は39年目を迎えている。その総運転時間(加速管への高電界印加時間)について5月7日の午前8時50分03秒に20万時間が達成された。先輩方の積み上げて来られた運転成果を引き継いで、20万時間運転の節目を迎えられたことは、我々が大変誇りに思うところである。コロナ・ウィルスなどのために特に行事は予定されなかったが、ビデオ会議を通してコーヒーで乾杯し、祝うことができた。電子陽電子入射器は1978年に建設を始め、1982年にPFへの2.5GeV電子の入射を開始した。並行して1981年から陽電子生成用入射器を建設し、1986年にTRISTANへの2.5GeV電子・陽電子の入射を開始した。また、1992年から低速陽電子施設も運用を始めた。さらに、1998年からはKEKB電子陽電子非対称エネルギーコライダーへの8GeV電子と3.5GeV電子の入射を行い、2バンチ入射や連続入射などのさまざまな加速器技術の開発が行われた。東日本大震災による大きな被災があったが、その後大幅な改造を経て2016年からはSuperKEKBへの7GeV電子と4GeV陽電子の入射を続けており、2019年からはPFとPF-AR両放射光施設を含めた4リング同時トップアップ入射運転により、飛躍的な実験効率向上に貢献している。



# KEK 電子陽電子入射器 (PF, TRISTAN)

- フォトンファクトリ (PF) の 2.5 GeV 入射器として 1978 年建設開始
  - 東大核研電子シンクロトロンを利用した放射光実験の成果を踏まえて放射光専用加速器を中心とする放射光総合研究所の設立の期待
  - 既に素粒子物理学分野で世界最高エネルギーの衝突型加速器の実現の機運が高まり、設計は双方を対象とする
- 2.5 GeV, 400 m, 8 MeV/m, S-band
  - 2m 準定勾配型  $2\pi/3$  モード進行波加速管 160 本
  - 永久磁石収束 20 MW クライストロン 40 ユニット
- 1982 年放射光施設運用開始
  - 同時に TRISTAN 電子陽電子衝突型加速器認可
  - 陽電子生成装置の建設開始
- TRISTAN 電子陽電子コライダー入射 1986 年 - 1994 年
  - 世界最高エネルギーを達成するも、トップクォークは発見できず

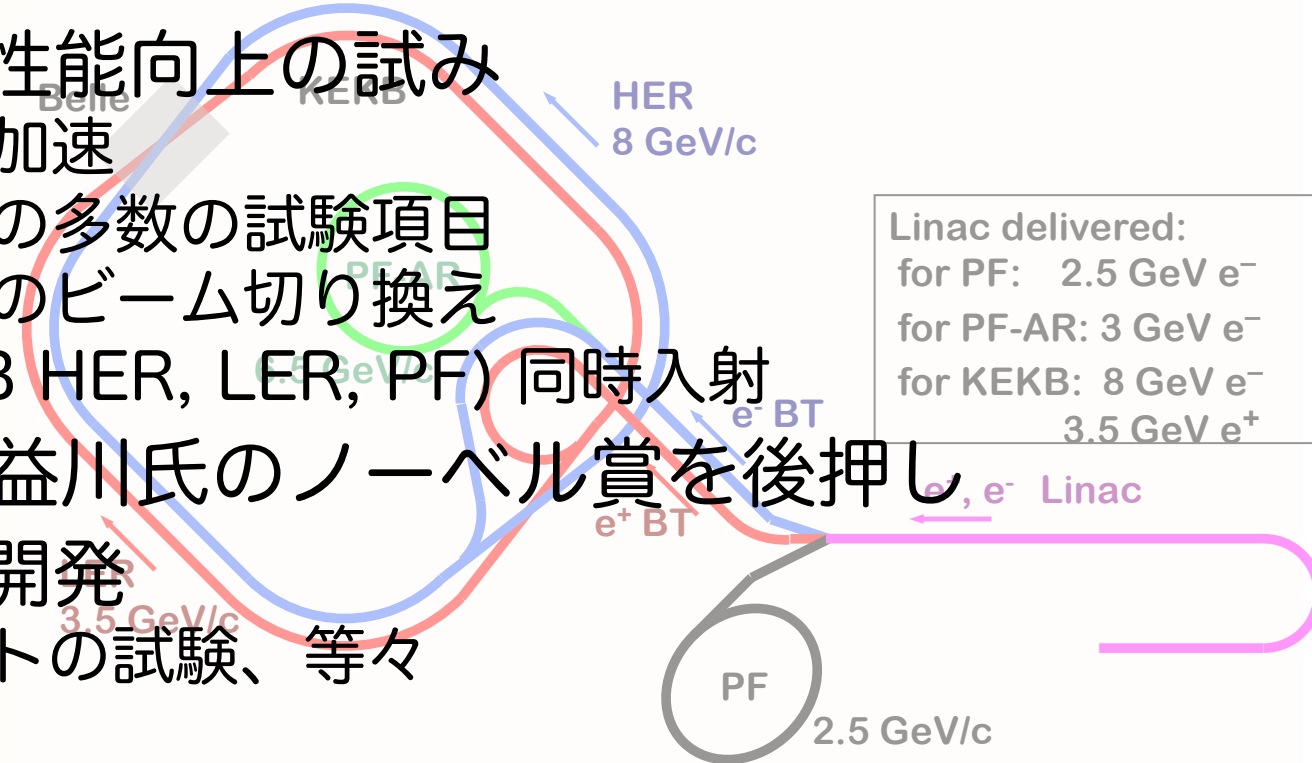
Linac delivered:  
for PF: 2.5 GeV  $e^-$   
for TRISTAN:  
2.5 GeV  $e^-$   
2.5 GeV  $e^+$





# KEK 電子陽電子入射器 (KEKB)

- 非対称エネルギー電子陽電子衝突型 B ファクトリ (KEKB) の 8 GeV 電子・3.5 GeV 入射器として 1995 年増強開始
  - 20 加速ユニットを増設し、SLED エネルギー増倍器を追加し、エネルギーを 2.5 GeV から 8 GeV に増強し、シンクロトロンを用いず、直接入射を可能とする
  - SLAC という強力な入射器を持つ PEP-II が競争相手
- 建設後もさまざまな性能向上の試み
  - 1 パルス内 2 バンチ加速
  - ビーム安定化のための多数の試験項目
  - 連続入射と 1 分以内のビーム切り換え
  - 3 蓄積リング (KEKB HER, LER, PF) 同時入射
- 2008 年の小林氏・益川氏のノーベル賞を後押し
- SuperKEKB 向けの開発
  - C-band 加速ユニットの試験、等々





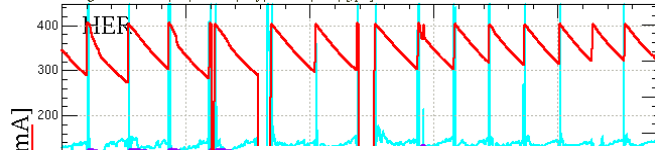


# KEKB 入射運転の進展

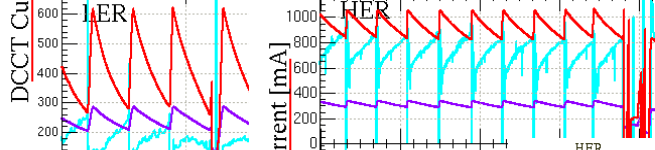
1日あたりの運転状況  
 赤: ビーム電流 (電子, 陽電子)  
 紫: 真空 (電子, 陽電子)  
 黄: 衝突ルミノシティ  
 緑: 積分ルミノシティ

Belle/KEK

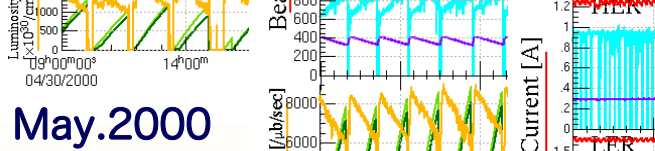
HER 321.7 [mA] 1124 [bunches] Physics Run  
 LER 312.9 [mA] 1125 [bunches]  
 Luminosity 1275. (now) 1763 (peak in 24H) [ $\times 10^{30}/\text{cm}^2\text{sec}$ ]  
 Integ. Lum. 5.7 (Fill) 36.4 (Day) 81.6 (24H) [pb]



HER 1 [mA] 1284 [bunches] Physics Run  
 LER 1214. [mA] 1284 [bunches]  
 Luminosity 0 (now) 9027 (peak in 24H @04:38) [nb/sec]  
 Integ. Lum. 10.3 (Fill) 455.4 (Day) 455.9 (24H) [pb]



HER 1.256 [A] 1293 [bunches] Achieved 1000/pb/day  
 LER 1.638 [A] 1293 [bunches]  
 Luminosity 14.376 (now) 14.686 (peak in 24H @8:21) [nb/sec]  
 Integ. Lum. 747.4 (Fill) 1082.6 (Day) 1084.2 (24H) [pb]



HER 1.256 [A] 1293 [bunches] Achieved 1000/pb/day  
 LER 1.638 [A] 1293 [bunches]  
 Luminosity 14.376 (now) 14.686 (peak in 24H @8:21) [nb/sec]  
 Integ. Lum. 747.4 (Fill) 1082.6 (Day) 1084.2 (24H) [pb]



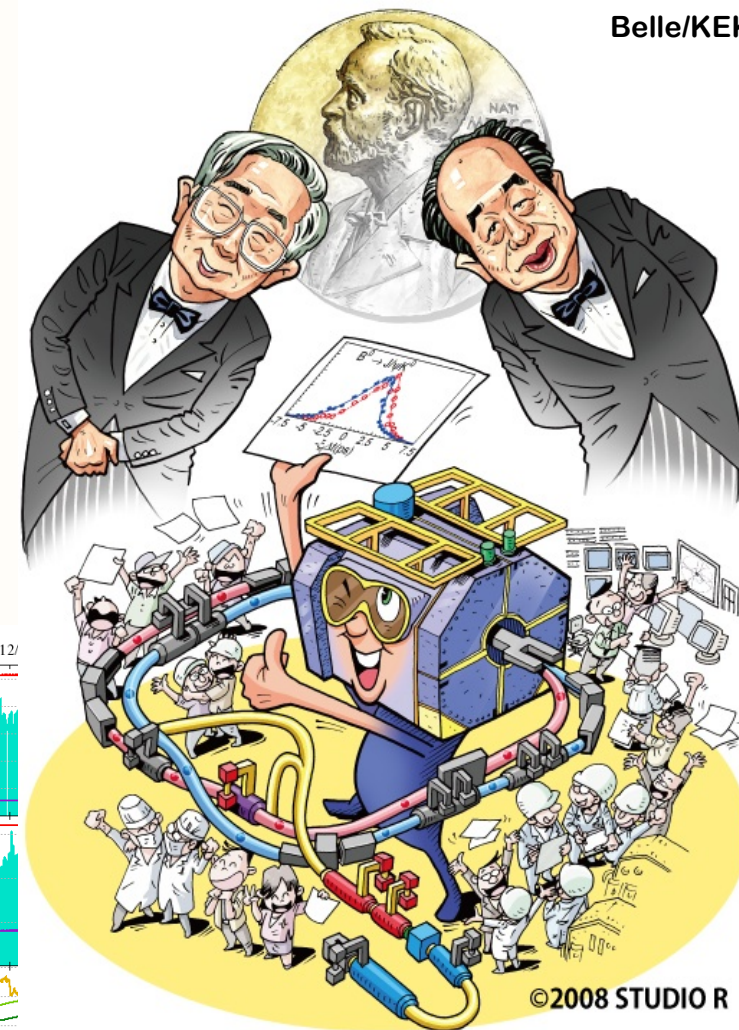
HER 1.256 [A] 1293 [bunches] Achieved 1000/pb/day  
 LER 1.638 [A] 1293 [bunches]  
 Luminosity 14.376 (now) 14.686 (peak in 24H @8:21) [nb/sec]  
 Integ. Lum. 747.4 (Fill) 1082.6 (Day) 1084.2 (24H) [pb]



HER 1.256 [A] 1293 [bunches] Achieved 1000/pb/day  
 LER 1.638 [A] 1293 [bunches]  
 Luminosity 14.376 (now) 14.686 (peak in 24H @8:21) [nb/sec]  
 Integ. Lum. 747.4 (Fill) 1082.6 (Day) 1084.2 (24H) [pb]



HER 1.256 [A] 1293 [bunches] Achieved 1000/pb/day  
 LER 1.638 [A] 1293 [bunches]  
 Luminosity 14.376 (now) 14.686 (peak in 24H @8:21) [nb/sec]  
 Integ. Lum. 747.4 (Fill) 1082.6 (Day) 1084.2 (24H) [pb]

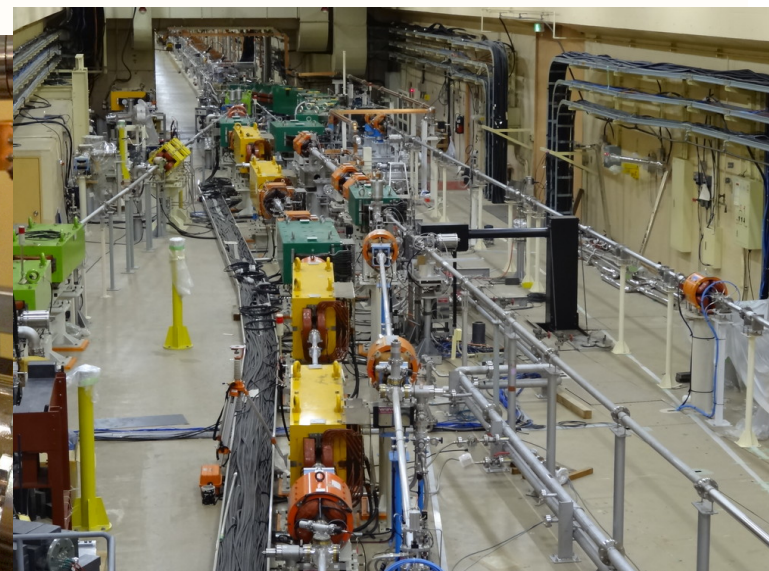
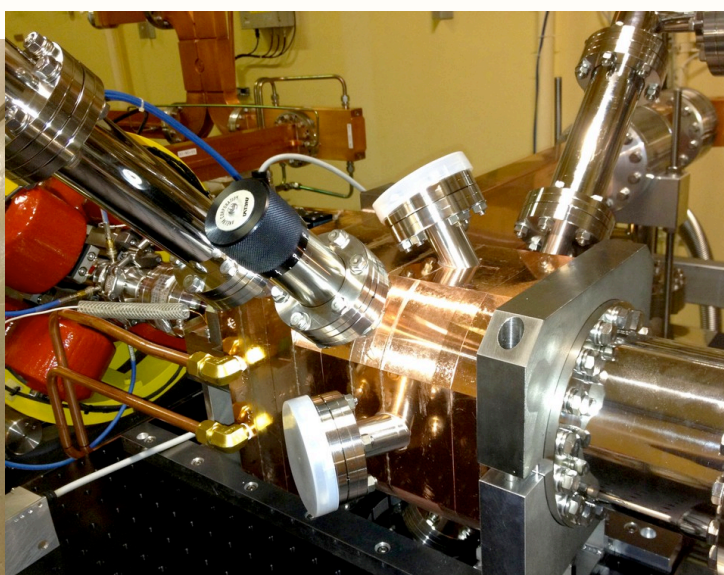
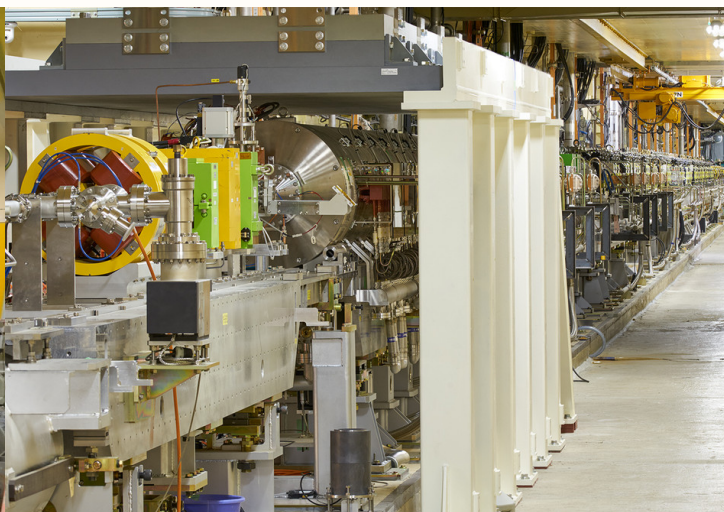


ルミノシティの世界記録を保持





# SuperKEKB 向けの改造







# KEKB/SuperKEKB の入射のビーム

Stage	KEKB (final)		Phase-I		Phase-II		Phase-III (interim)		Phase-III (final)	
	e+	e-	e+	e-	e+	e-	e+	e-	e+	e-
Beam Energy	3.5 GeV	8.0 GeV	4.0 GeV	7.0 GeV	4.0 GeV	7.0 GeV	4.0 GeV	7.0 GeV	4.0 GeV	7.0 GeV
Stored current	1.6 A	1.1 A	1.0 A	1.0 A	-	-	1.8 A	1.3 A	3.6 A	2.6 A
Life time (min.)	150	200	100	100	-	-	-	-	6	6
Bunch charge (nC)	primary e- 10		primary e- 8		0.5	1	2	2	primary e- 10	4
	→ 1	1	→ 0.4	1					→ 4	
Norm. Emittance ( $\gamma\beta\epsilon$ ) (mrad)	1400	310	1000	130	200/40	150	150/30	100/40	<u>100/15</u>	<u>40/20</u>
					(Hor./Ver.)		(Hor./Ver.)	(Hor./Ver.)	(Hor./Ver.)	
Energy spread	0.13%	0.13%	0.50%	0.50%	0.16%	0.10%	0.16%	0.10%	<u>0.16%</u>	<u>0.07%</u>
Bunch / Pulse	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Repetition rate	50 Hz		25 Hz		25 Hz		50 Hz		50 Hz	
Simultaneous top-up injection (PPM)	3 rings (LER, HER, PF)		No top-up		Partially		4+1 rings (LER, HER, DR, PF, PF-AR)		4+1 rings (LER, HER, DR, PF, PF-AR)	



# 20万時間運転の達成とその可用性

運転開始から 38 年、2020 年 5 月 7 日に 20 万時間の運転時間達成

オンライン会議経由、モーニングコーヒーの乾杯で祝うことができた

施設	入射エネルギー	実験エネルギー	年度	1970		1980					1990					2000					2010					2020																							
				8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0													
PF	2.5 GeV	2.5 GeV		建設		入射運転																																											
TRISTAN	2.5 GeV	32 GeV		建設					入射運転																																								
低速陽電子	2.5 GeV - 55 MeV	0.1 - 35 keV																				建設	運転																										
KEKB	8 / 3.5 GeV	8 / 3.5 GeV																				建設					入射運転																						
PF-AR	2.5 GeV - 6.5 GeV	5 - 6.5 GeV																				建設	入射運転																										
SuperKEKB	7 / 4 GeV	7 / 4 GeV																									建設					入射運転																	

それぞれの計画の開始時期に故障率が上昇し、対策が施されると安定する

- 1987: TRISTAN,
- 1999: KEBB,
- 2018: SuperKEKB,
- 2019: 4 リング同時トップアップ入射開始

故障率は運転可能だが装置が故障している状態、ビーム停止率は入射もできない状態、をそれぞれ表す

### 電子陽電子入射器の運転時間と故障率

