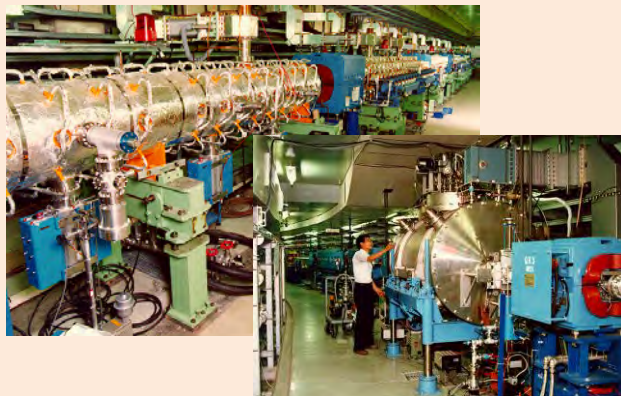
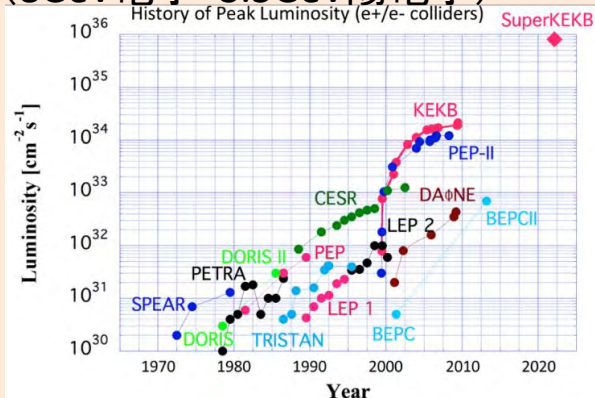


ナノビーム加速器 SuperKEKB

TRISTAN 1987~1995
(32GeV電子・32GeV陽電子)



KEKB 1998~2010
(8GeV電子・3.5GeV陽電子)

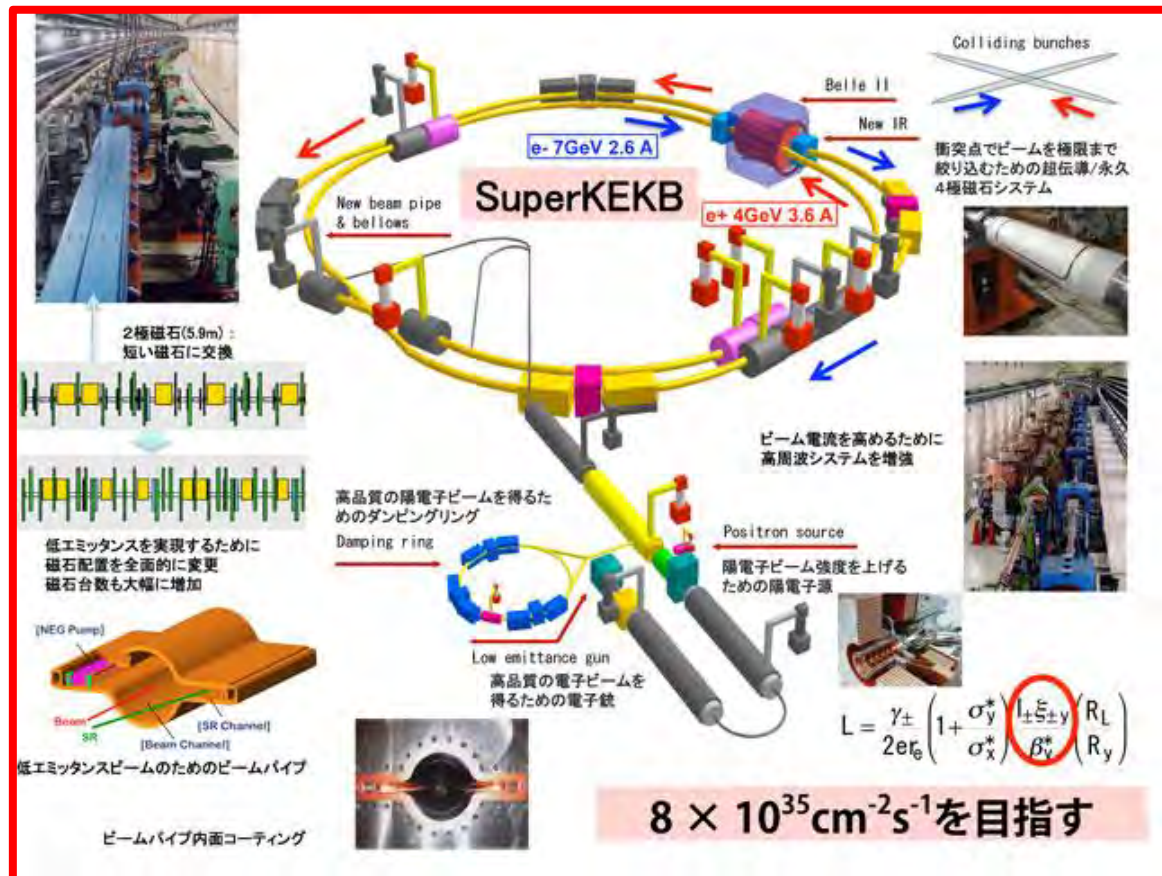


小林・益川理論 (2008年ノーベル物理学賞)の検証に貢献

衝突点でのビームサイズ

KEKB: 垂直~10 μ m、水平~100 μ m

SuperKEKB: 垂直~50nm、水平~10 μ m



KEK-ATF2での国際協力によるナノビーム試験



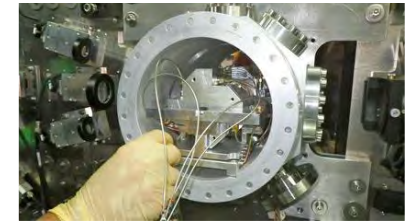
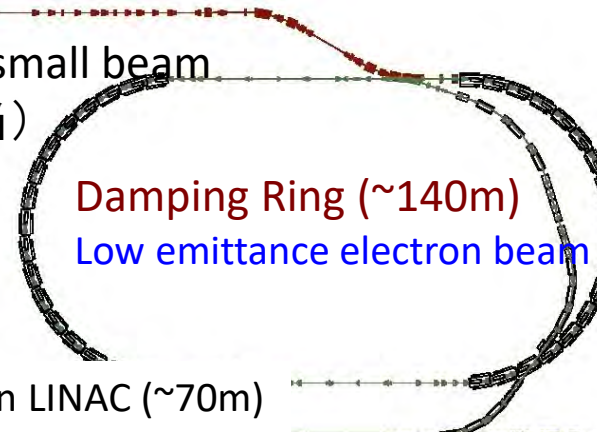
ATF2: Final Focus Test Beamline

Goal 1: Establish the technique for small beam

37nm (250GeV ILCの7.7nm相当)

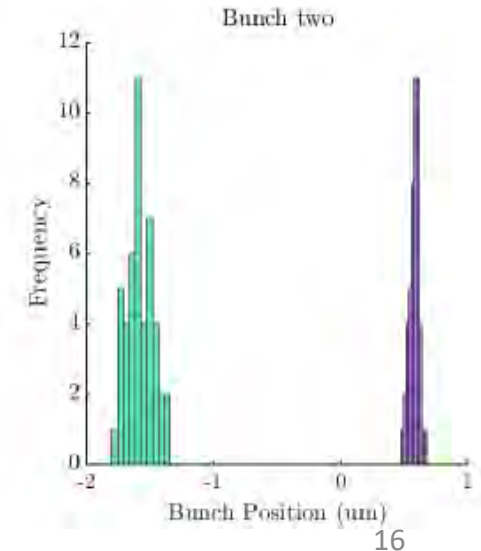
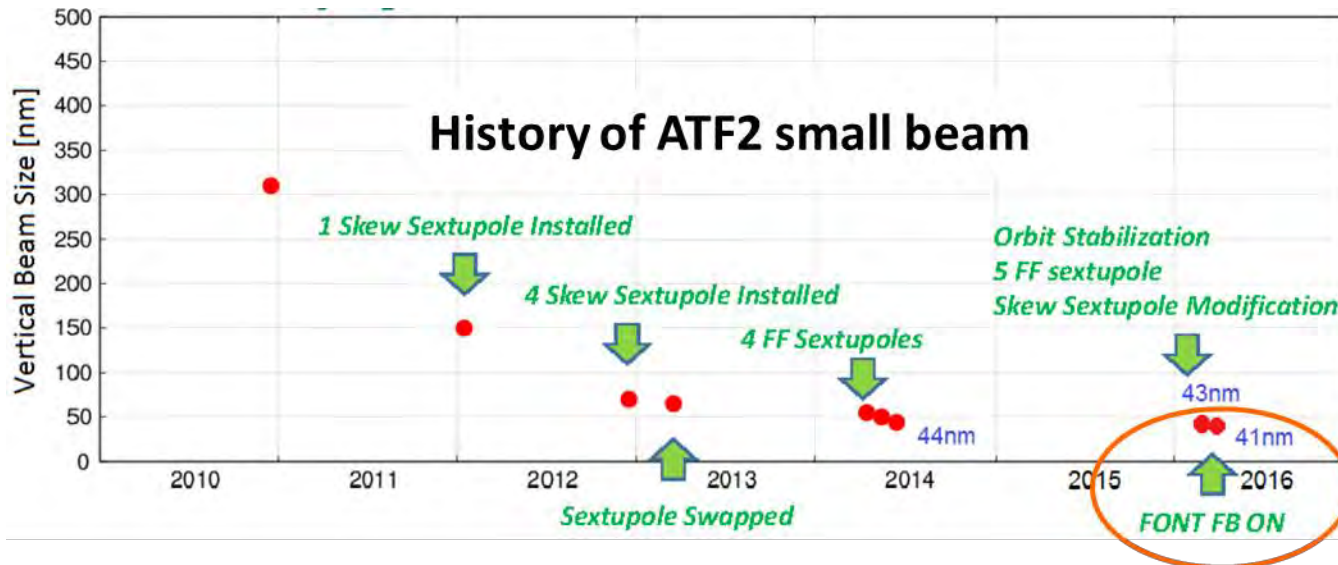
Goal 2: Stabilize beam position

300ns以内にフィードバック



133nsでフィードバック
安定度はBPMの分解能で制限

Bunch	Position jitter (nm)	
	Feedback off	Feedback on
1	106 ± 16	106 ± 16
2	96 ± 10	41 ± 4



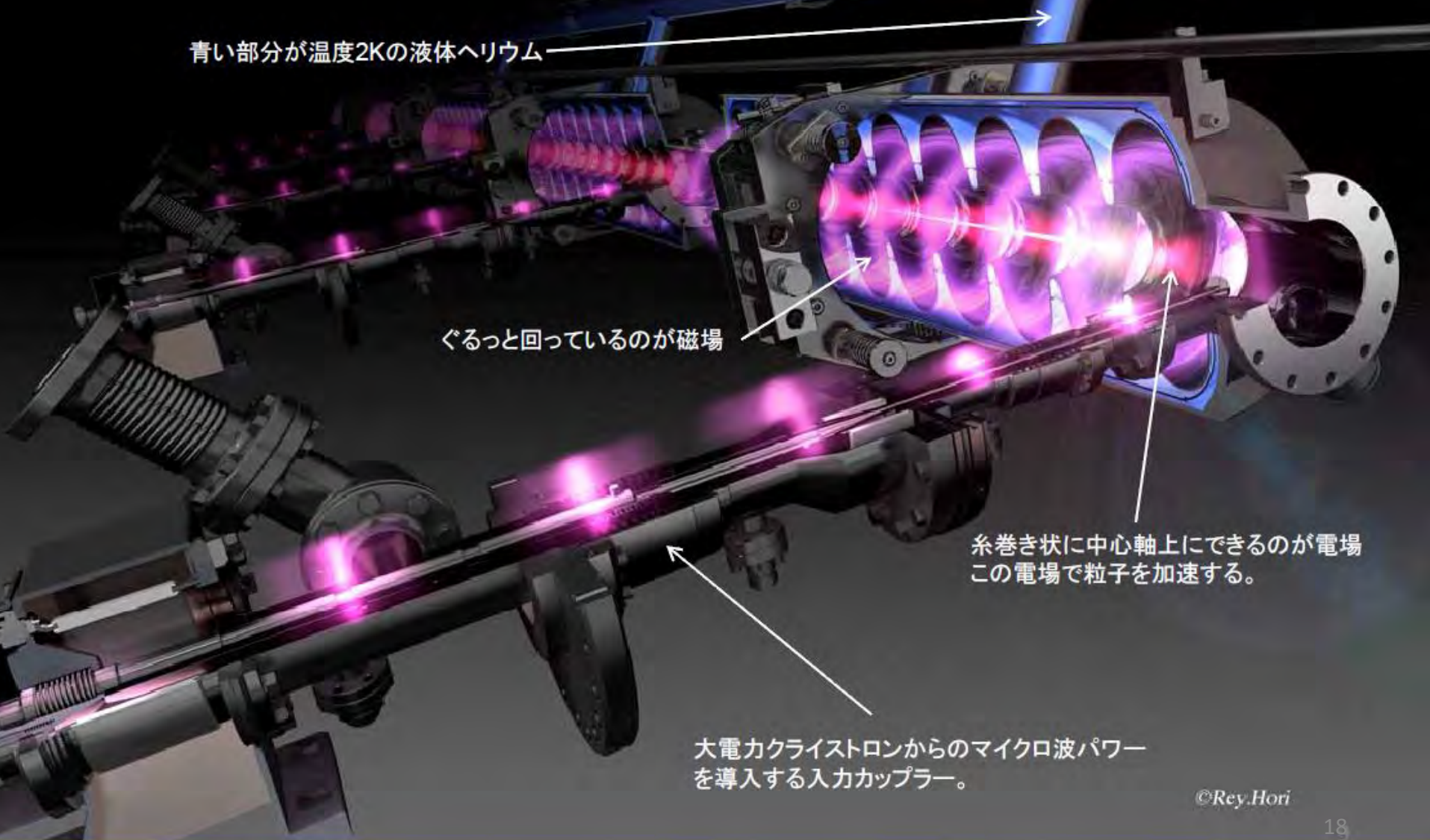
ILCの加速器施設

道園真一郎

LCC ILC研究グループリーダー
KEK加速器研究施設

- 世界の加速器
- 旧設計500GeV ILC
- 250GeV ILC
 - ナノビーム
-  ■ 超伝導高周波加速
- コスト削減R&D
- 陽電子源・ビームダンプ
- 250GeV ILC加速器建設費用
- まとめ

超伝導加速空洞の電磁場の様子



KEKでの超伝導空洞開発



508MHz TRISTAN (1989)



508MHz KEKB (1998)

1980年代から超伝導空洞の開発
TRISTAN/KEKB/SuperKEKBでの実績

STF (2005-)超伝導空洞試験評価の拠点

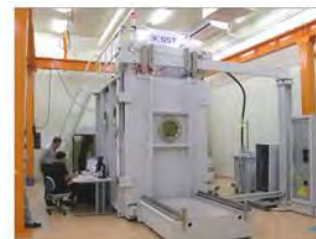


S1グローバル(2010)
KEK4台、ドイツ・米国から2台ずつの空洞試験

空洞単体評価
(縦測定)



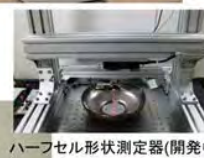
CFF(2011-)超伝導空洞製造の拠点



EBW室
EBWマシン



CP室 ドラフトチャンバ



ハーフセル形状測定器(開発中)



プレス機(サーボ式)



縦型旋盤

KEKはTRISTAN以来、超伝導高周波空洞開発に豊富な経験

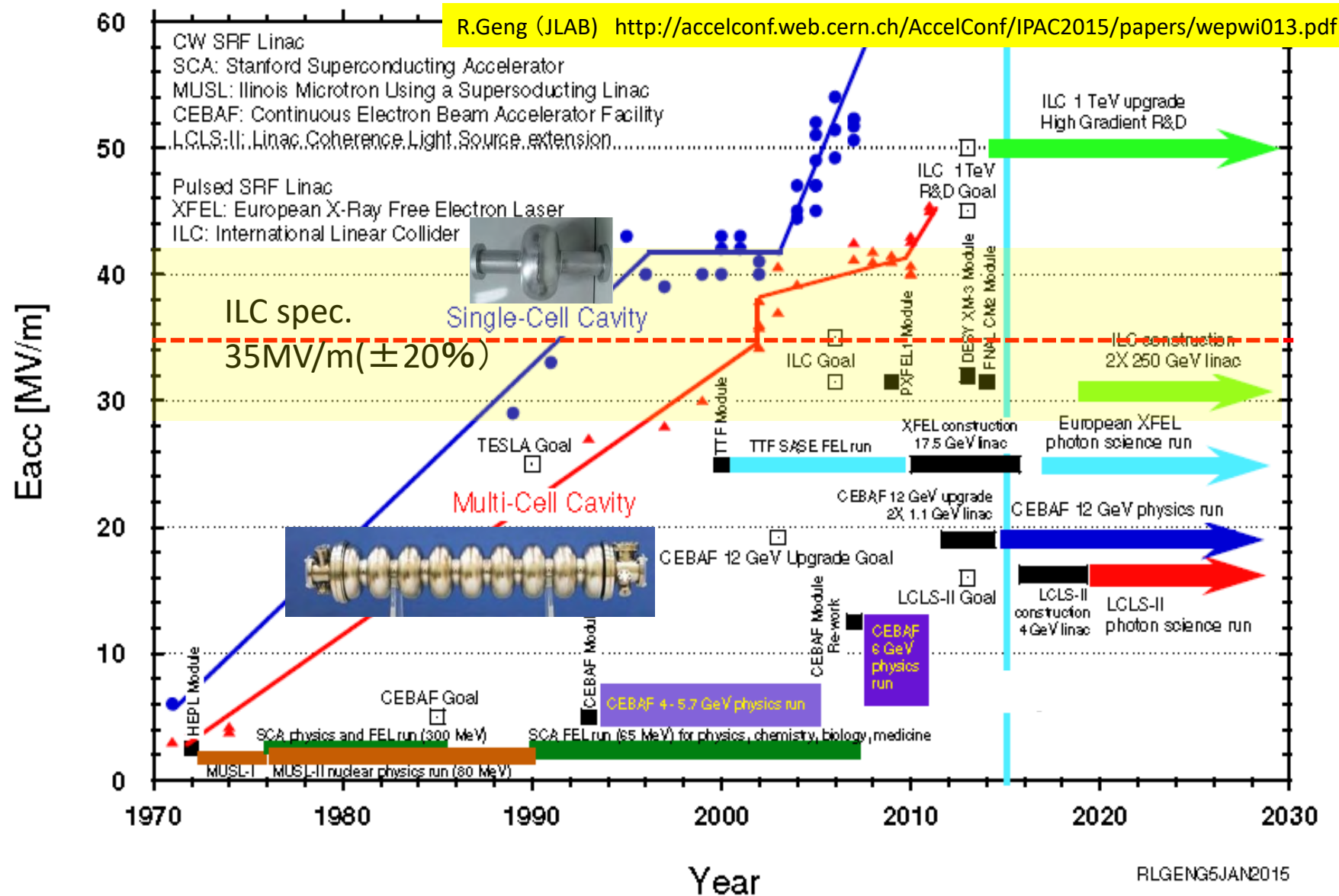


STF-2(2016)
8台の空洞を31MV/mで運転



日本学術会議(2018/08/10)

レバンド(~1.3GHz) 空洞の性能向上(世界)



2010年以降の世界の超伝導加速器

Project	Notes	# cavities	year
CEBAF-JLAB (US)	Upgrade 6.5 GeV => 12 GeV electrons	80	
XFEL-Hamburg (EU)	18 GeV e – for Xray Free Electron Laser	840	~ 2017
LCLS-II – SLAC (US)	4 GeV electrons –CW XFEL	300	~ 2019
SPIRAL-II (France)	30 MeV, 5 mA protons -> Heavy Ion	28	
FRIB – MSU (US)	500 kW, heavy ion beams	340	
ESS (Sweden)	1 – 2 GeV, 5 MW n-Source ESS - pulsed	150	
PIP-II–Fnl (US)	High Intensity p-Linac for Neutrino Beams	115	
ADS- (China, India)	R&D for accelerator drive system	> 200	
Global sum		> 2000	

Shanghai XFEL: > 500 to be added

H. Padamsee / ILCWS2015/ILC-School

世界の超伝導高周波電子加速器

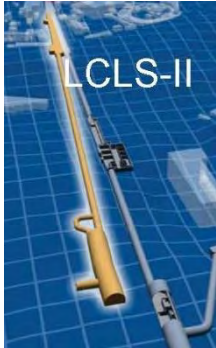


FNAL/ANL

◎SLAC

◎Cornell
◎JLab

現在建設中
35クライオモジュール
280空洞
4GeV(CW)



超伝導電子加速器の技術は円熟



XFEL
X-Ray Free-Electron Laser

2017年よりビーム運転開始
100クライオモジュール
800空洞
17.5GeV(パルス)

ILCの1/10規模

◎DESY
LAL/◎
SACLAY ◎INFN Milano

◎IHEP ◎KEK

1.3GHz 9セル空洞



ILCの加速器施設

道園真一郎

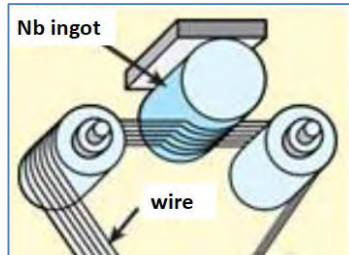
LCC ILC研究グループリーダー
KEK加速器研究施設

- 世界の加速器
- 旧設計500GeV ILC
- 250GeV ILC
 - ナノビーム
 - 超伝導高周波加速
 -  ■ コスト削減R&D
 - 陽電子源・ビームダンプ
- 250GeV ILC加速器建設費用
- まとめ

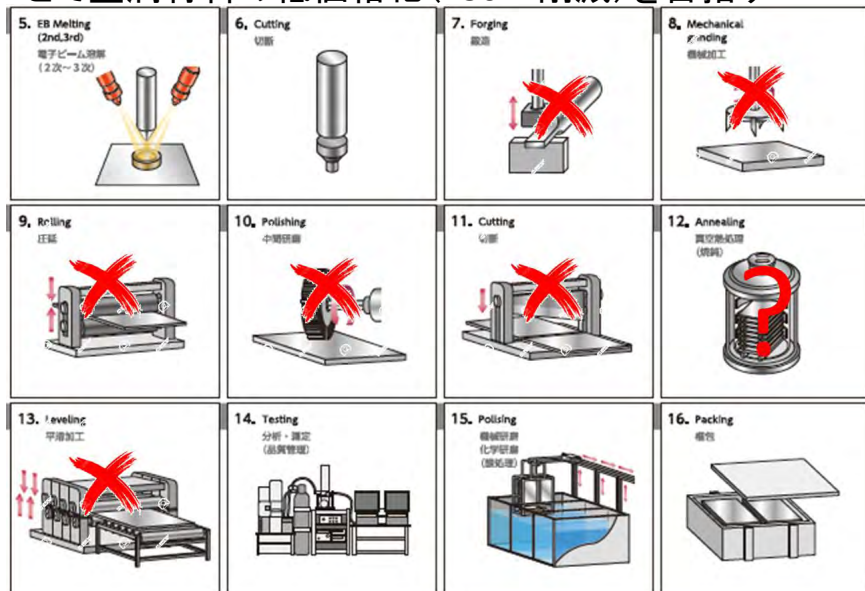
日米ILC コスト削減R&D 技術革新によるコスト削減

日米ディスカッショングループ(米国エネルギー省-文科省)において米国フェルミ研究所、KEKの提案について着手することを合意。2019年度までR&Dを行う予定。

超伝導ニオブ材料の低価格化: 材料コスト削減
-ダイレクトスライス材料

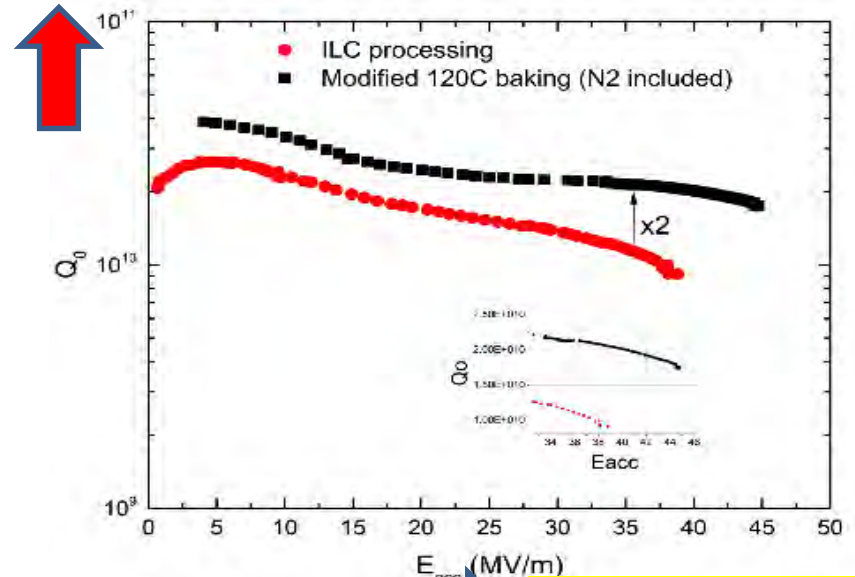


空洞に使用するニオブ材料の製造過程を工夫することで空洞材料の低価格化(~50%削減)を目指す



フェルミ研究所で開発された新技術による空洞の高効率化: 使用空洞数削減
-窒素インフュージョン

高いエネルギー効率



高い加速性能

フェルミ研究所のデータ
空洞電界が10%程度増加 (空洞数の10%削減)
空洞の高周波損失が1/2に向上

ILCの加速器施設

道園真一郎

LCC ILC研究グループリーダー
KEK加速器研究施設

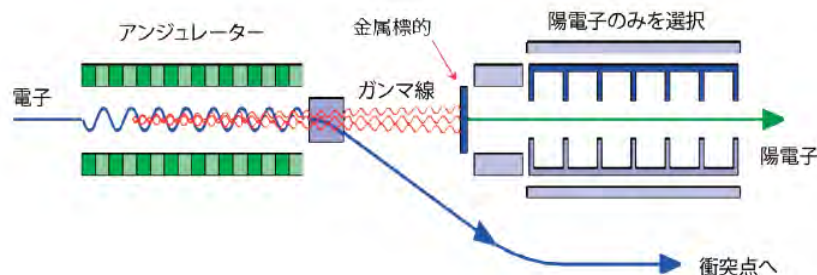
- 世界の加速器
- 旧設計500GeV ILC
- 250GeV ILC
 - ナノビーム
 - 超伝導高周波加速
 - コスト削減R&D
 -  ■ 陽電子源・ビームダンプ
- 250GeV ILC加速器建設費用
- まとめ

陽電子源・ビームダンプ

陽電子源について、ベースラインとなっている**アンジュレータ型**と、バックアップとなっている従来型の**電子駆動型**が検討されている。

ILC実現の見通しが示された段階での成熟度を基に技術判断する(コストはほぼ同等)。

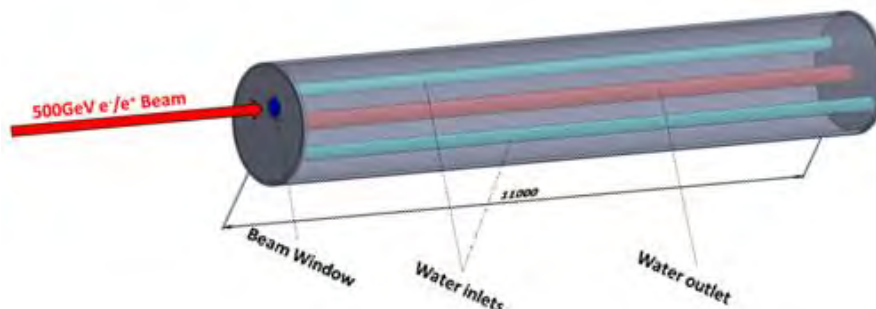
アンジュレータ型には**陽電子の偏極が得られる**特徴があるが、従来型の電子駆動型はこれまでの経験が生かせること、**陽電子生成のための高エネルギー電子が不要**なことが利点である。



ビームダンプ*は、SLACの2.2MWビームダンプ(実績750kW)の設計者が設計。**設計値17MWに対し、250GeV ILCでのビーム負荷は2.6MWであり、尤度は高い。**

重要課題は、コンポーネント(ビームダンプ窓のハンドリング等)の技術開発と詳細設計(本準備期間に技術を完成させる)。

*衝突試験後に高エネルギービームが入射される場所



ILCの加速器施設

道園真一郎

LCC ILC研究グループリーダー
KEK加速器研究施設

- 世界の加速器
- 旧設計500GeV ILC
- 250GeV ILC
 - ナノビーム
 - 超伝導高周波加速
 - コスト削減R&D
 - 陽電子源・ビームダンプ

-  ■ 250GeV ILC加速器建設費用
- まとめ

250GeV ILCの加速器建設費用(概要)

	物件費	労務費	運転経費
ILC-500加速器	8,309億円	1,598億円 (22,893 千人・時)	491億円
ILC-250加速器	5,152~5,830億円*	1,198億円 (17,165 千人・時)	366~392億円

*土木建築費の幅(～180億円)とコスト削減R&Dの成否による幅(～500億円)を含む。

1Euro=115円, 1 USD=100円を使用(ILC500の見積もり時と同じ)

これ以外に、不定性25%(ILC500時と同じ)、コンティンジェンシー10%(今回新たに記載)などがある。

準備期間経費は233億円、解体費用は運転経費2年分と見積もられている。

測定器費用は含んでいない。

国際リニアコライダー(ILC)に関する有識者会議「ILC計画の見直しを受けたこれまでの議論のまとめ」(2018-7)より抜粋

ILCの加速器施設

道園真一郎

LCC ILC研究グループリーダー
KEK加速器研究施設

- 世界の加速器
- 旧設計500GeV ILC
- 250GeV ILC
 - ナノビーム
 - 超伝導高周波加速
 - コスト削減R&D
 - 陽電子源・ビームダンプ
- 250GeV ILC加速器建設費用



■ まとめ

まとめ

- 250GeV ILC は、CERN-LHCでのRun-II 実験結果を踏まえ、『Higgs Factoryとして建設』に改定。ICFA・LCBにより承認。
- ナノビームと超伝導高周波加速が重要要素。全長~20km。
- 「ナノビーム技術」： ATF-2、SuperKEKBでの実証が進む。
- 「超伝導高周波加速」： KEKはTRISTAN以来の歴史。
 - 世界的にもILCの1/10規模の欧州XFELが運転を開始。
 - 超伝導加速技術に関するコスト削減R&Dも進む。
- 加速器建設コスト(測定器を除く)：
5,152~5,830億円(物件費)+1,198億円(労務費)