

ILC 陽電子源 課題と展望

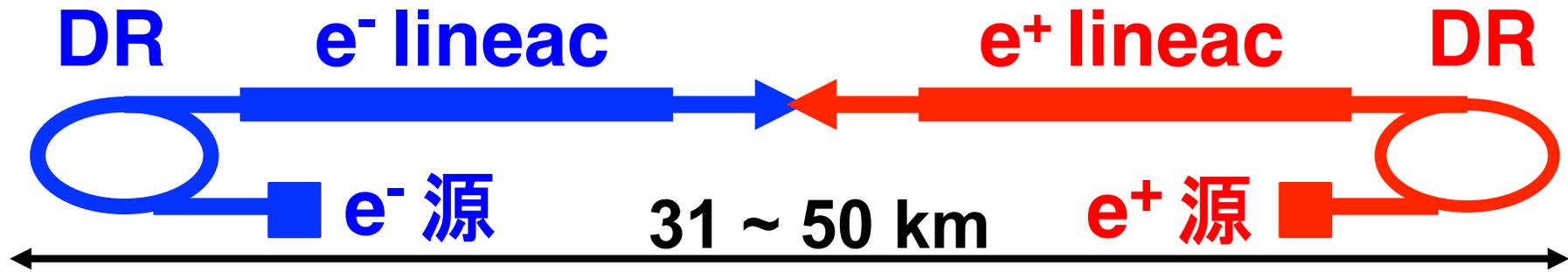
大森恒彦 (KEK)

2014年7月21日
ILC 夏の合宿@関金温泉

栗木さん(広大)、高橋さん(広大)、横谷さん(KEK)、
Jeff Gronberg さん(LLNL)、D. Scott さんのスライドから
多数をいただきました。

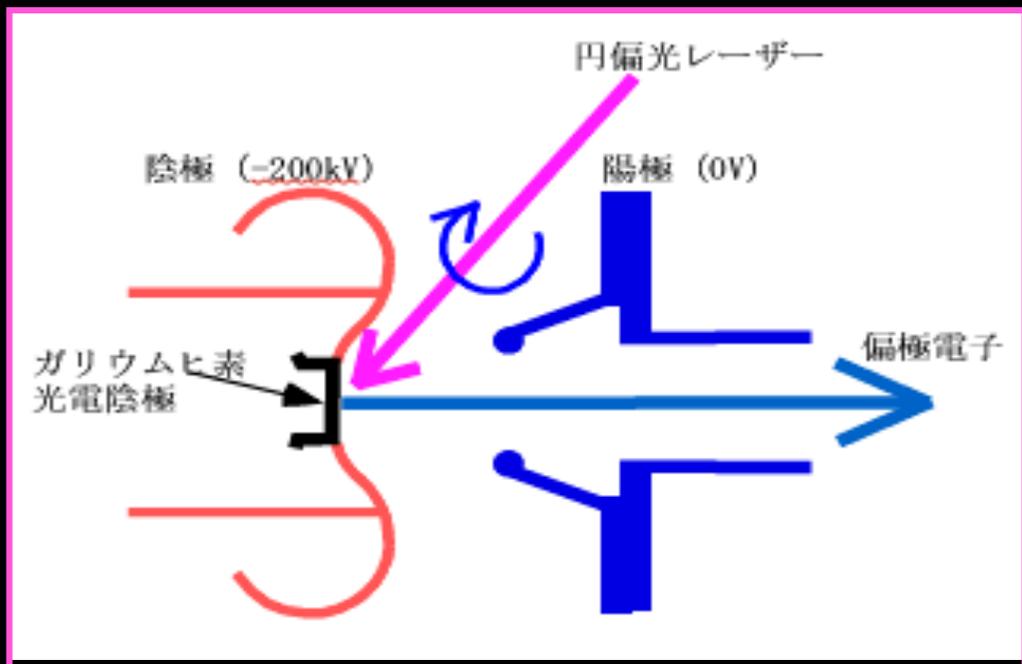
陽電子生成と ILC

ILC: International Linear Collider



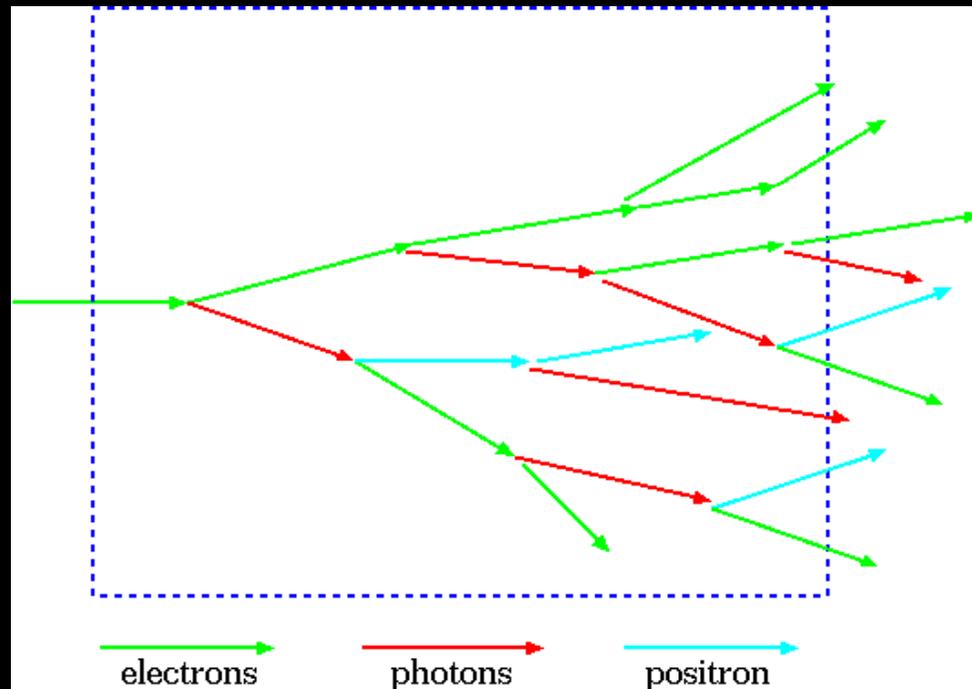
$$E_{\text{cm}} = 500 - 1000 \text{ GeV}$$

電子源と陽電子源



電子源

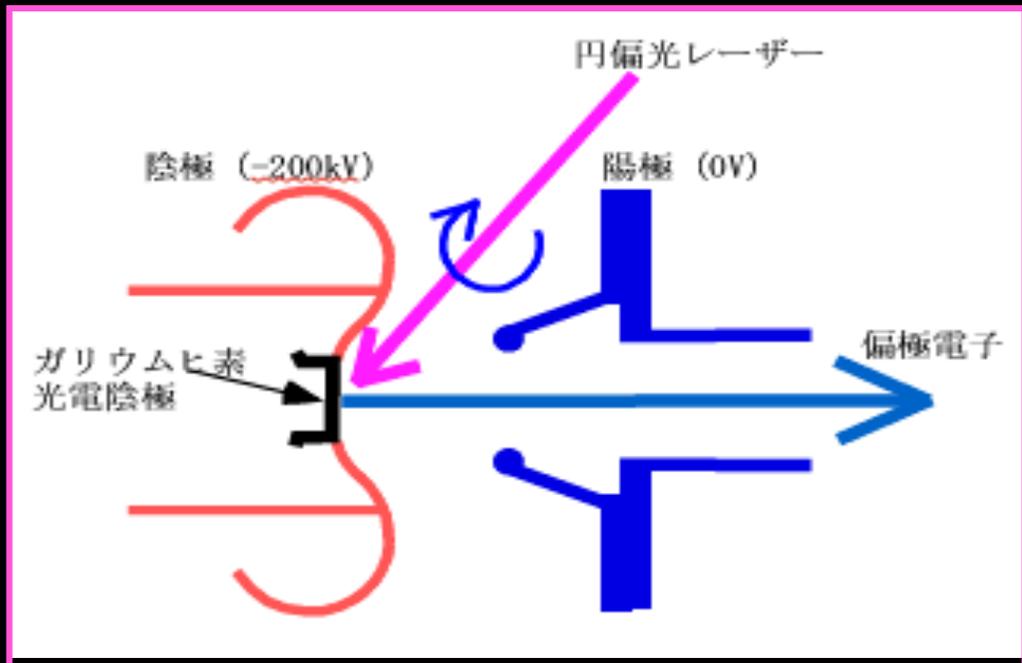
物質中から取り出す



陽電子源

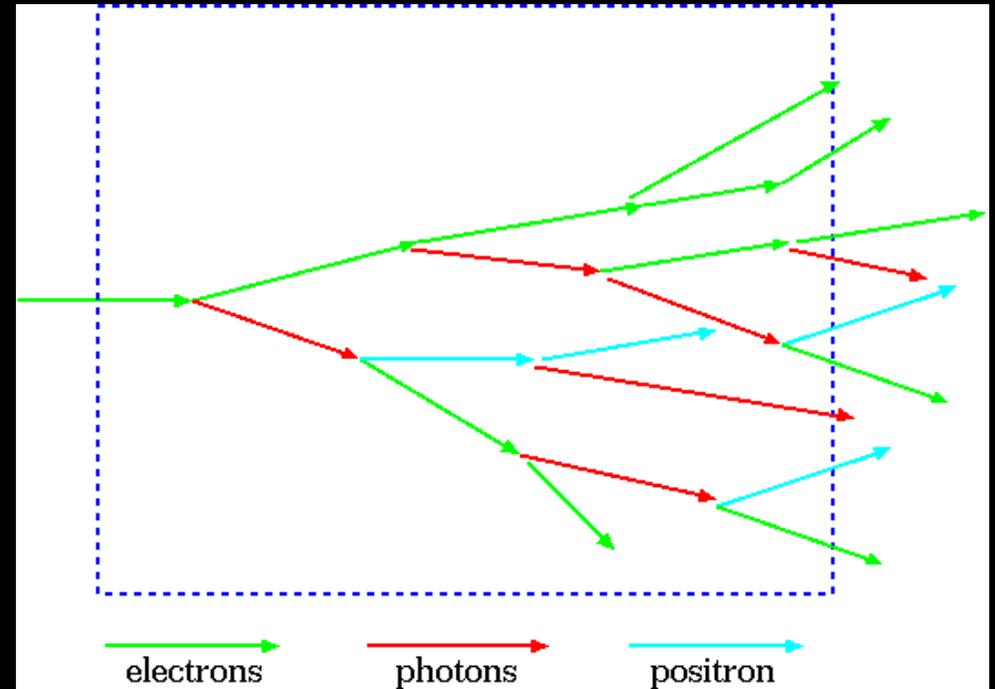
物質中には無いので
作り出さなくてはならない

電子源と陽電子源



電子源

世界初の超格子フォトカソードは日本で開発された
KEK-名大-NEC **高偏極フォトカソード**



陽電子源

物質中には無いので
作り出さなくてはならない

VOLUME 67, NUMBER 23

PHYSICAL REVIEW LETTERS

2 DECEMBER 1991

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

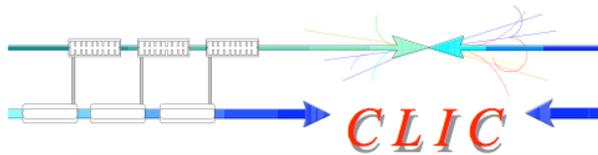
T. Omori,⁽¹⁾ Y. Kurihara,⁽¹⁾ T. Nakanishi,⁽²⁾ H. Aoyagi,⁽²⁾ T. Baba,⁽³⁾ T. Furuya,⁽¹⁾ K. Itoga,⁽¹⁾
M. Mizuta,⁽³⁾ S. Nakamura,^{(2),(a)} Y. Takeuchi,⁽¹⁾ M. Tsubata,⁽²⁾ and M. Yoshioka⁽¹⁾

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

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

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

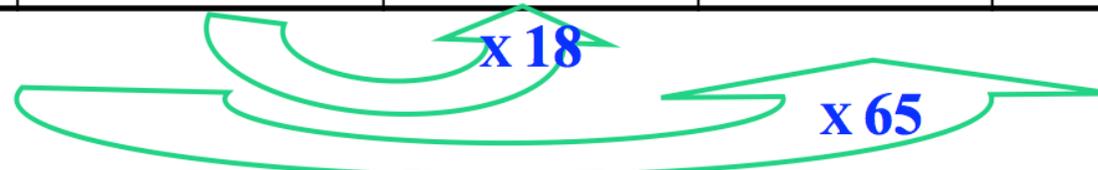
(Received 13 March 1991)



Flux of e⁺



| | SLC | CLIC (3 TeV) | ILC (RDR) | LHeC |
|---|-------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Energy | 1.19 GeV | 2.86 GeV | 5 GeV | 100 GeV |
| e ⁺ / bunch at IP | 40 × 10 ⁹ | 3.72 × 10 ⁹ | 20 × 10 ⁹ | 15 × 10 ⁹ |
| e ⁺ / bunch before DR injection | 50 × 10 ⁹ | 7.6 × 10 ⁹ | 30 × 10 ⁹ | 15 × 10 ⁹ |
| Bunches / macropulse | 1 | 312 | 2625 | 20833 |
| Macropulse Repetition Rate | 120 | 50 | 5 | 10 |
| e ⁺ / second | 0.06 × 10 ¹⁴ | 1.1 × 10 ¹⁴ | 3.9 × 10 ¹⁴ | 31 × 10 ¹⁴ |

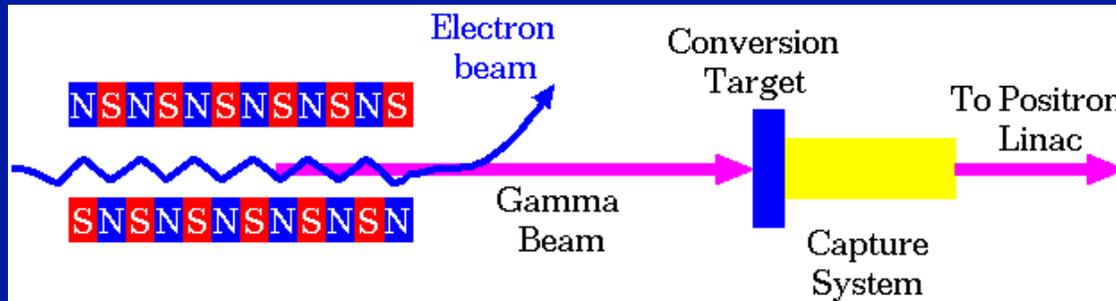


ILC ではとても多い陽電子が必要

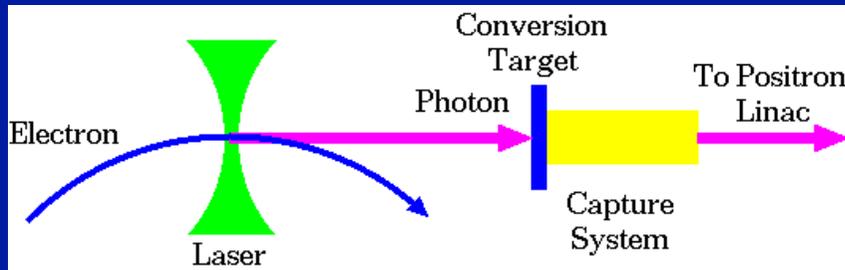
ILC陽電子源

ILCの技術的課題のうち、難しいもののひとつ。
今までに3つの方式が提案されている。

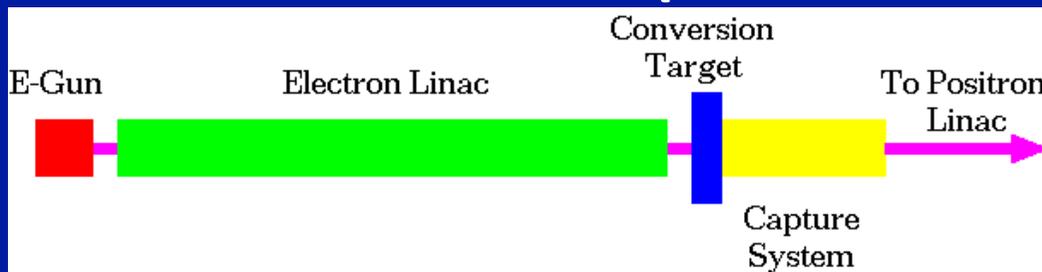
- ベースライン: アンジュレータ



- オプション: レーザーコンプトン



- バックアップ: 従来型(コンベンショナル)



偏極
30~60%

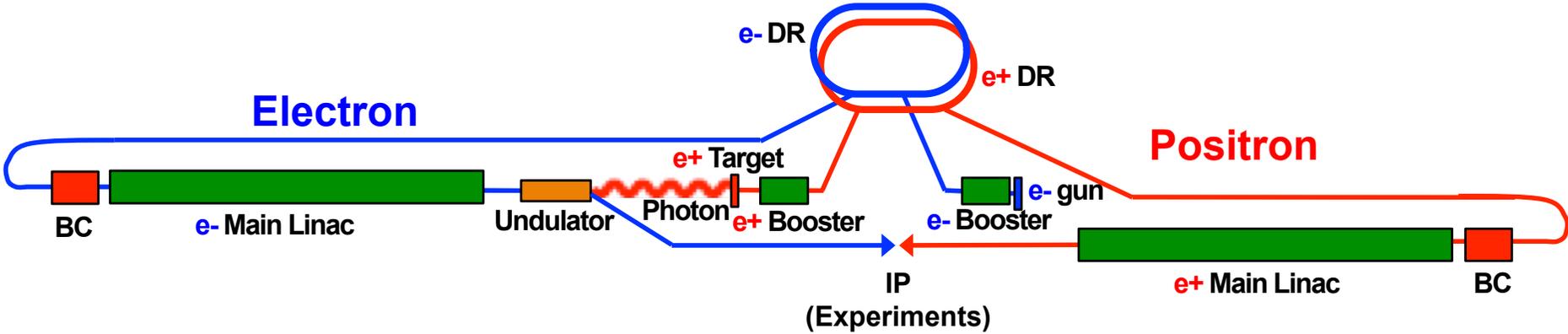
ILC baseline 陽電子源
(undulator 陽電子源)

Undulator-based e^+ source

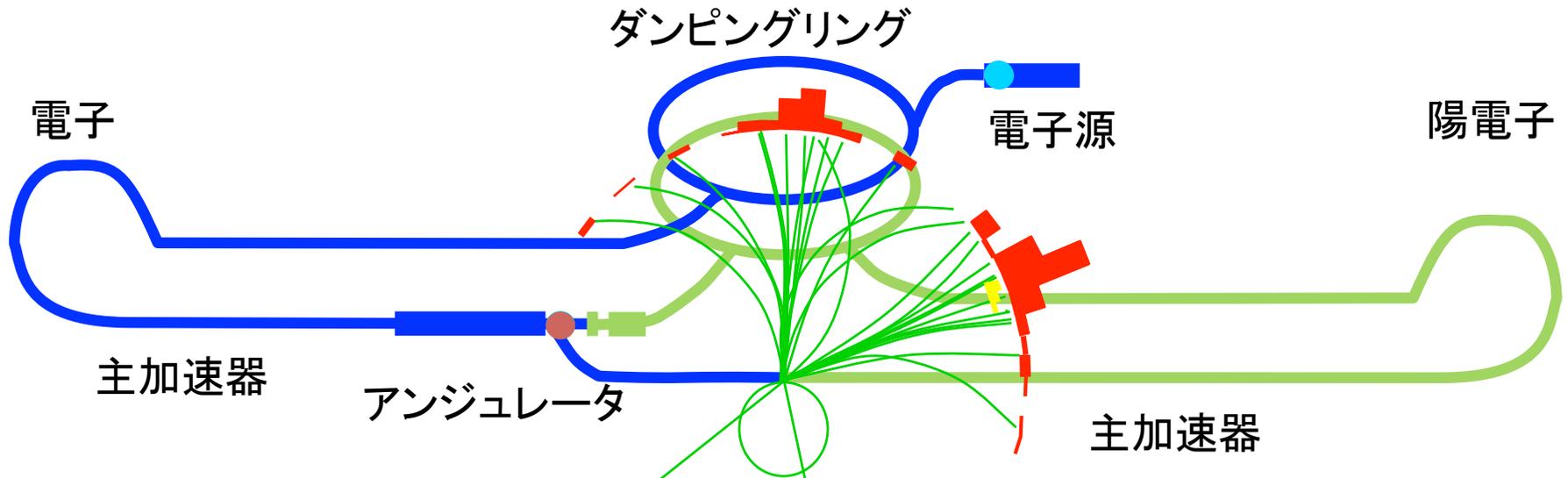


- Helical Undulator を使うことで偏極ガンマ線が得られ、そこから偏極陽電子が得られる。
- $E > 150 \text{ GeV}$ の電子ビームを別に用意する事は出来ない → main linac の電子ビームを使う。

ILC Undulator-based e^+ Source



ILC Positron Source (アンジュレーター方式)



- アンジュレーターで陽電子をつくる。
- しかしわざわざ陽電子生成のためだけに100GeV以上の高エネルギー電子ビームをつくるのは効率的でない。
- そこで、物理衝突実験のためにつくった電子ビーム(250GeV)を利用して、陽電子も作ってしまう。
- つくられた陽電子は次回の衝突で使用する。

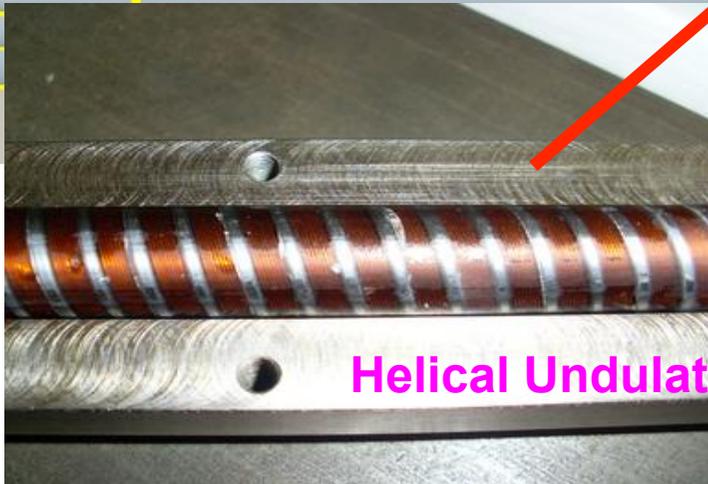
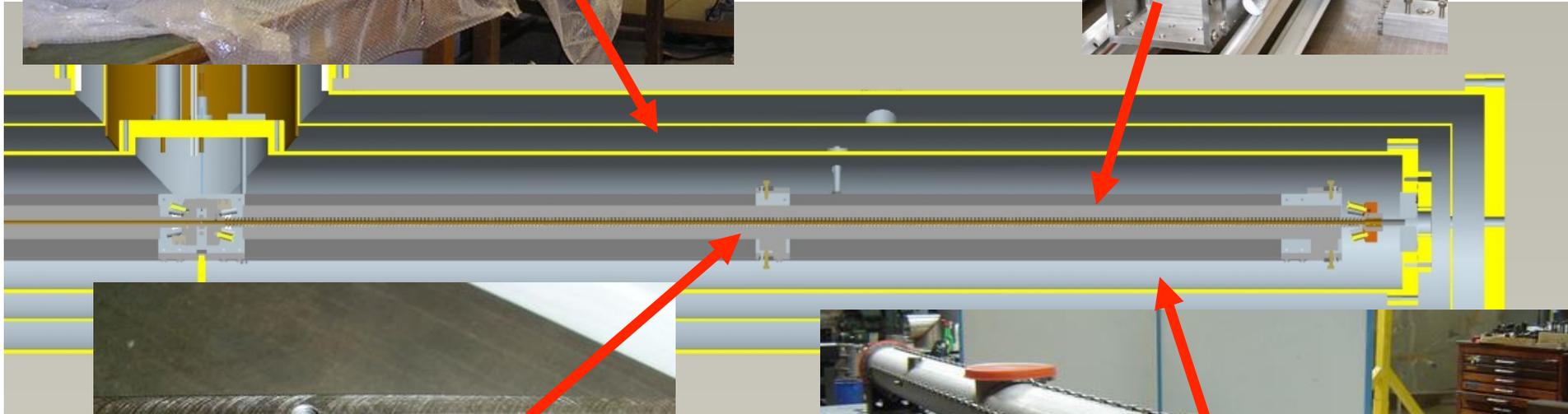
Undulator Cryomodule



Heat Shield



U Beam



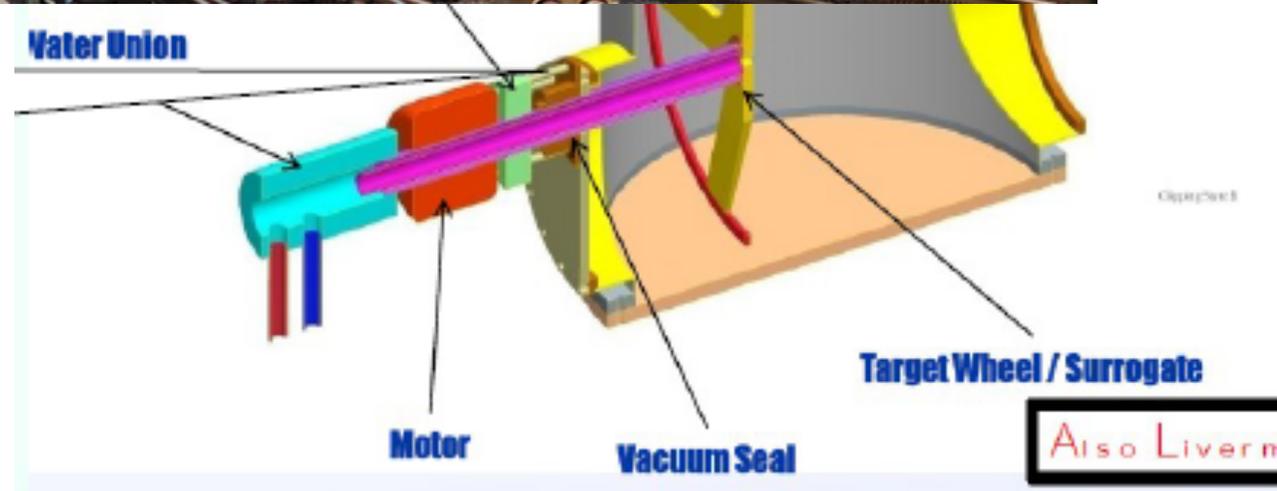
Helical Undulator



He Vessel

Positron Generation

- 15mm Ti-a
- **100m/s target speed. In vacuum.**
- There is no optimization (pulse structure is fixed).
- Technical design of the water joint and vacuum seal.



Baseline 陽電子源の課題

Undulator e+ 源の得失

利点

- ・ 偏極陽電子が得られる。

問題点(すべて「e- main linac を使う」ことに起因)

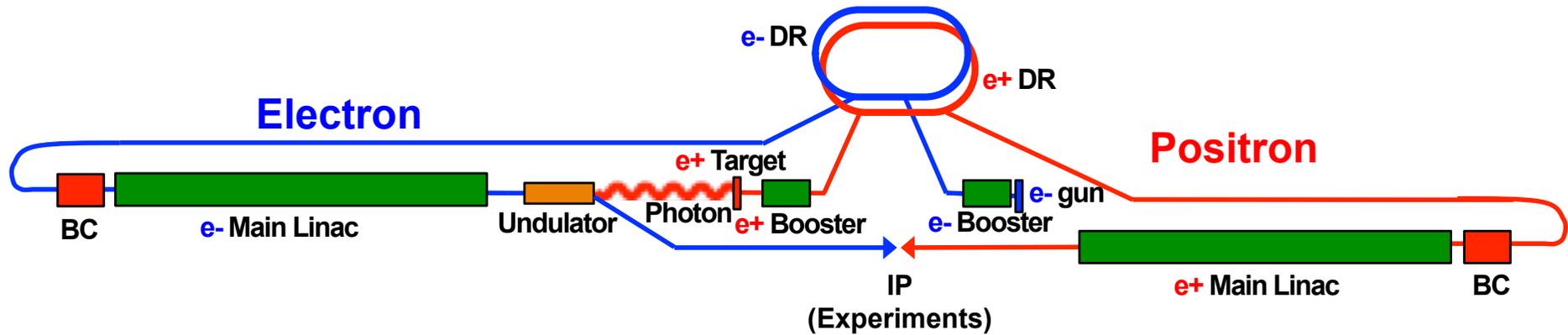
- ・ ILC の全システムが絡み合ったものになる。
- ・ undulator のアライメントが大変。
- ・ 「道のり合わせ」が大変。
- ・ コミッショニングが遅れる。

e+ 源のコミッショニングは電子ビームの
コミッショニング終了後でないと出来ない。

その後、e+ DR, e+ main linac のコミッショニングを行なう

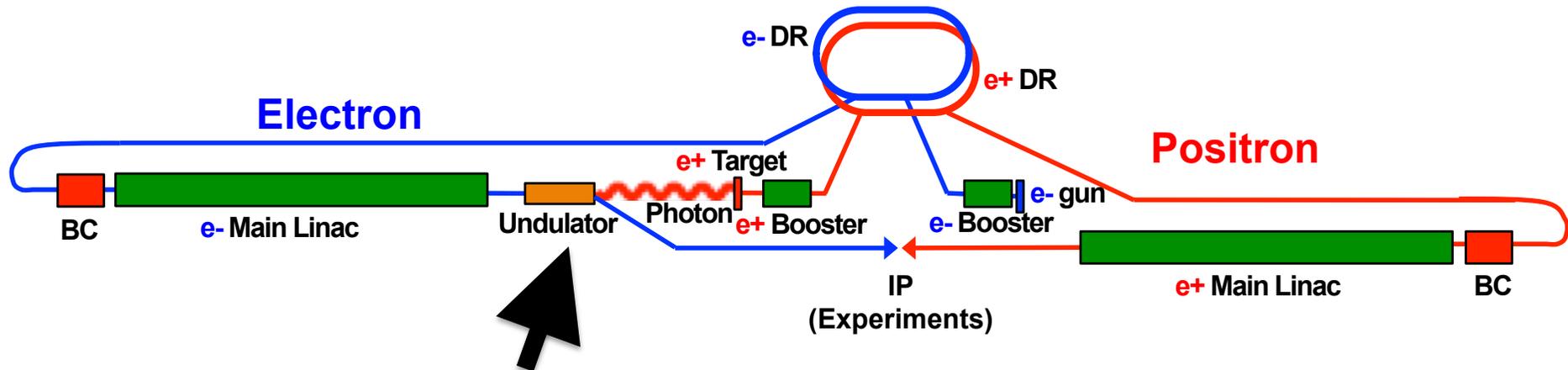
- ・ ターゲットがキビシイ。

ILC Undulator-based e^+ Source



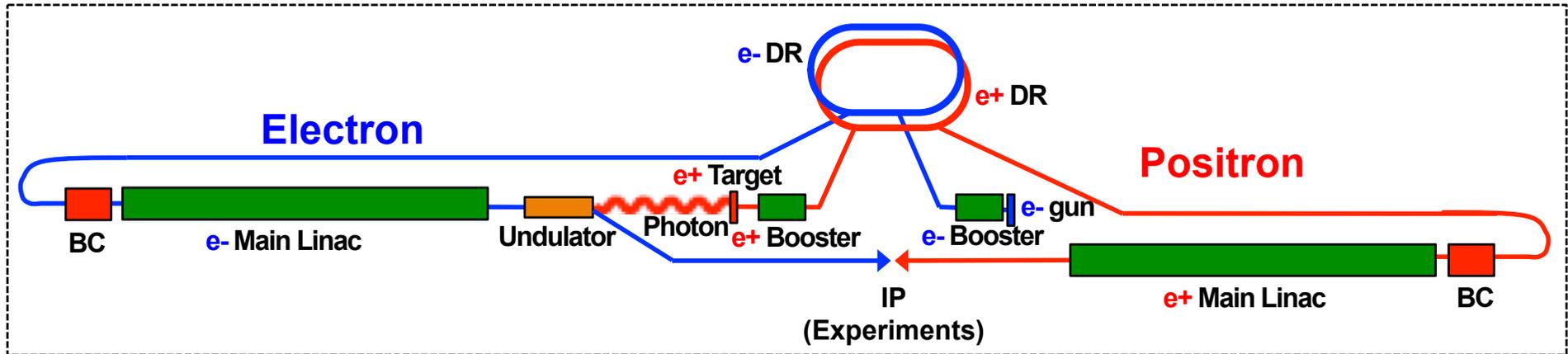
ILC の全システムが絡み合っている

ILC Undulator-based e^+ Source



- 直径 4.8 mm、長さ 230 m のアンジュレーターをビームが通る
- まずぶつけないように通す(初期アライメント)
- きれいに真ん中を通らないとビームの質が落ちる(エミタンスが悪くなる)。→ 衝突頻度(ルミノシティ)が下がる(良いアライメント)
- undulator のアライメントが大変。

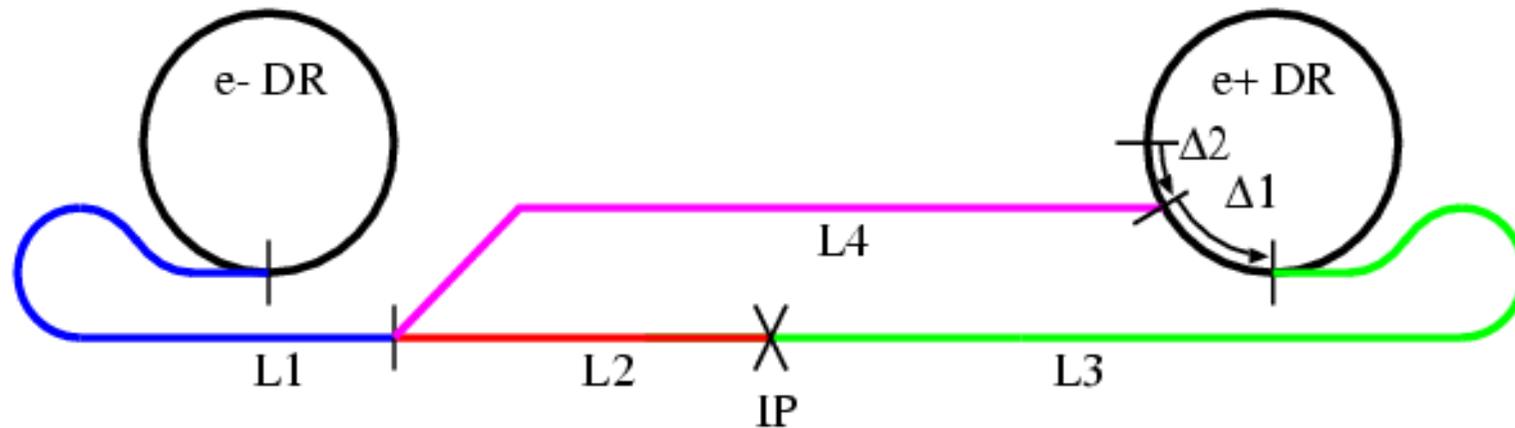
ILC Undulator-based e^+ Source



- 電子ビームを使って次の衝突用の陽電子を生成するために、電子軌道＋陽電子軌道の全長に面倒な条件が加わる。
- 陽電子は DR の適切な「バケツ」に入る必要がある
- 電子と陽電子は衝突点(IP)、すなわち測定器の中央で出会う必要がある。
- これらは物理的な長さ「道のり」として合わせる必要がある。

「道のり合わせ」が大変

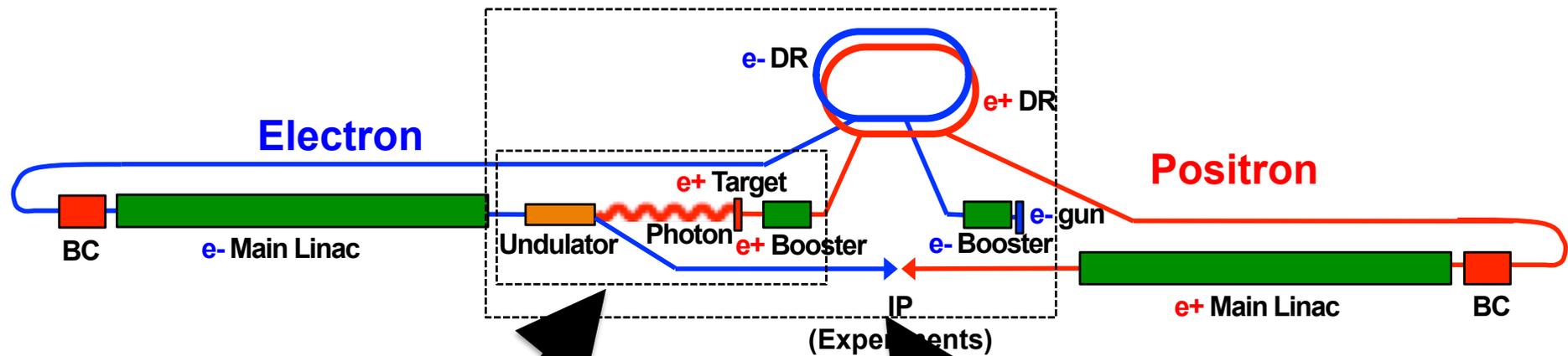
道のり条件



- 陽電子は電子ビーム衝突中によって作られる。
- 作られた陽電子は、衝突から約200msの間、DRのさまざまな位置を移動する。そのため、自己複製条件とは、特定の陽電子バンチの衝突相手（電子）が生成した陽電子バンチが同じDRのバケツに入ること。

For collision: $L_1 + L_2 = \Delta_1 + \Delta_2 + L_3,$
 For self-reproduction: $L_1 + L_4 = \Delta_2 + nC_{DR},$
 $L_3 + L_4 + \Delta_1 = L_2 + nC_{DR},$

ILC Undulator-based e^+ Source



コミッショニング:
加速器の立ち上げ、
試運転

- ・ **コミッショニングが遅れる。**

e^+ 源のコミッショニングは電子ビーム
のコミッショニング終了後でないと出来ない。

その後、 e^+ DR, e^+ main linac のコミッショニングを行なう。
undulator のアライメント、道のり合わせ。

- ・ TDR では中央部の
コミッショニングは
先行して(1年半)行な
う事になっている。

コミッショニング計画 (TDRより)

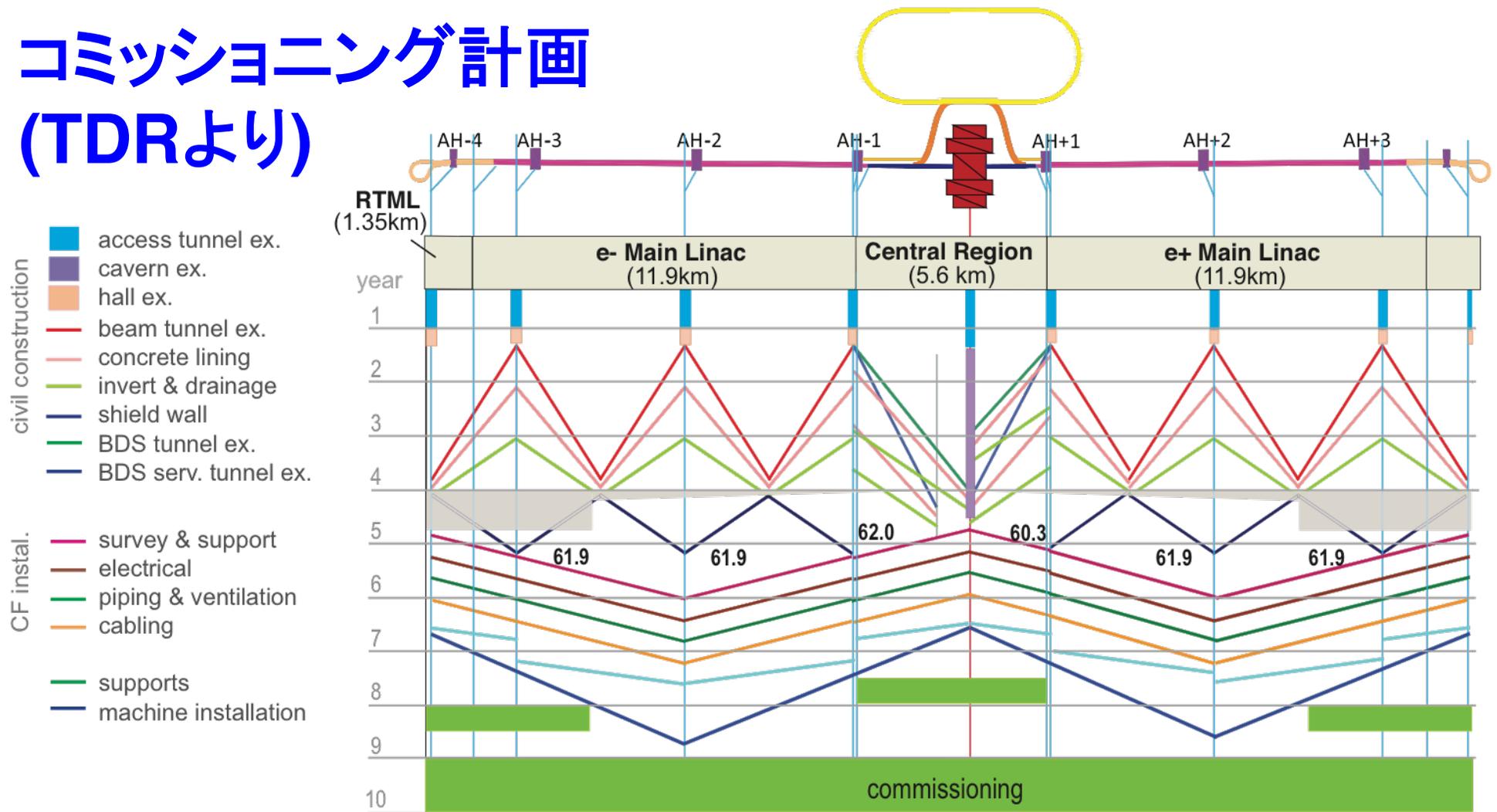


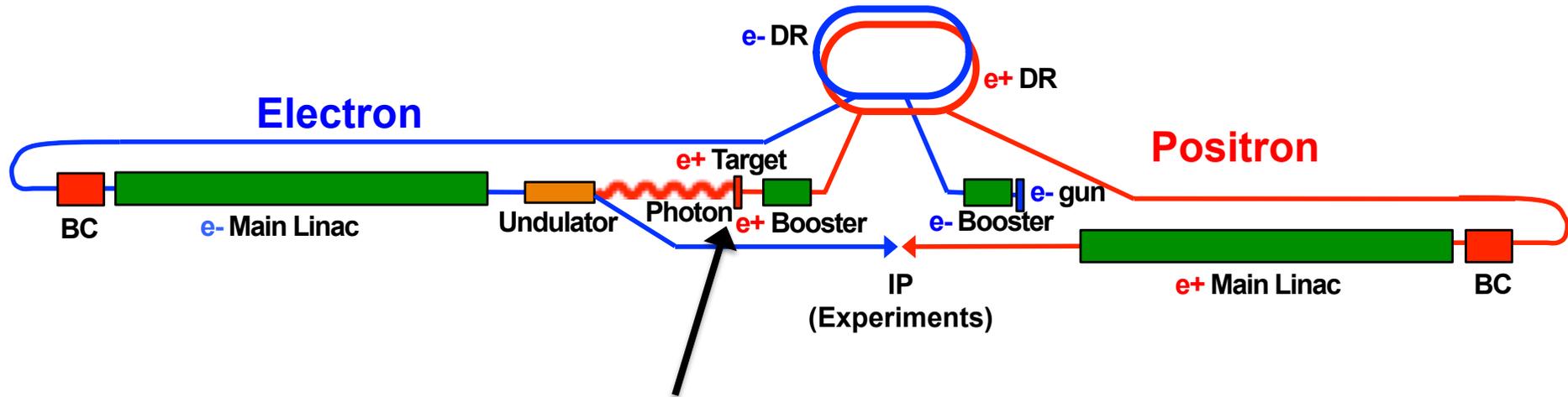
Figure 14.3. The construction and commissioning schedule for the mountain topography design variant. See Fig. 14.2 caption for details.

undulator e+ 源は TDR (上記)のコミッショニング計画に適合するの？ →

実際には →

e+ 源のコミッショニングは電子ビームのコミッショニング終了後でないと出来ない。
その後、e+ DR, e+ main linac のコミッショニングを行なう

ILC Undulator-based e^+ Source



- e^+ 生成用ターゲットは main linac のビーム持続時間 (1 m sec) の間に 2600 バンチ (1バンチ = 2×10^{10} ケ) の e^+ を作らなければならない。

**ターゲットが熱的に非常にキビシイ。
100 m/s で動くターゲットが必要。**

Undulator e+ 源の最大の課題はターゲット

- アンジュレーター方式

main linac の beam を使う →

1ミリ秒で 2600 bunches を生成 → 熱が大変厳しい
→ 高速回転ターゲット(出来るか?)

100 m/s で回転するターゲットを高真空中に保持
磁性流体回転真空シールを使用
LLNL で試験するも現在までに満足な結果無し。

- 過去の moving ターゲットの例

SLC : 0.1 m/s の揺動ターゲット(実績有り)

NLC: 1.2 m/s の回転ターゲット(設計のみ)

磁性流体は用いない、ラビリンズシール

Lawrence Livermore National Laboratory

**Design and Prototyping of the ILC
Positron Target System**



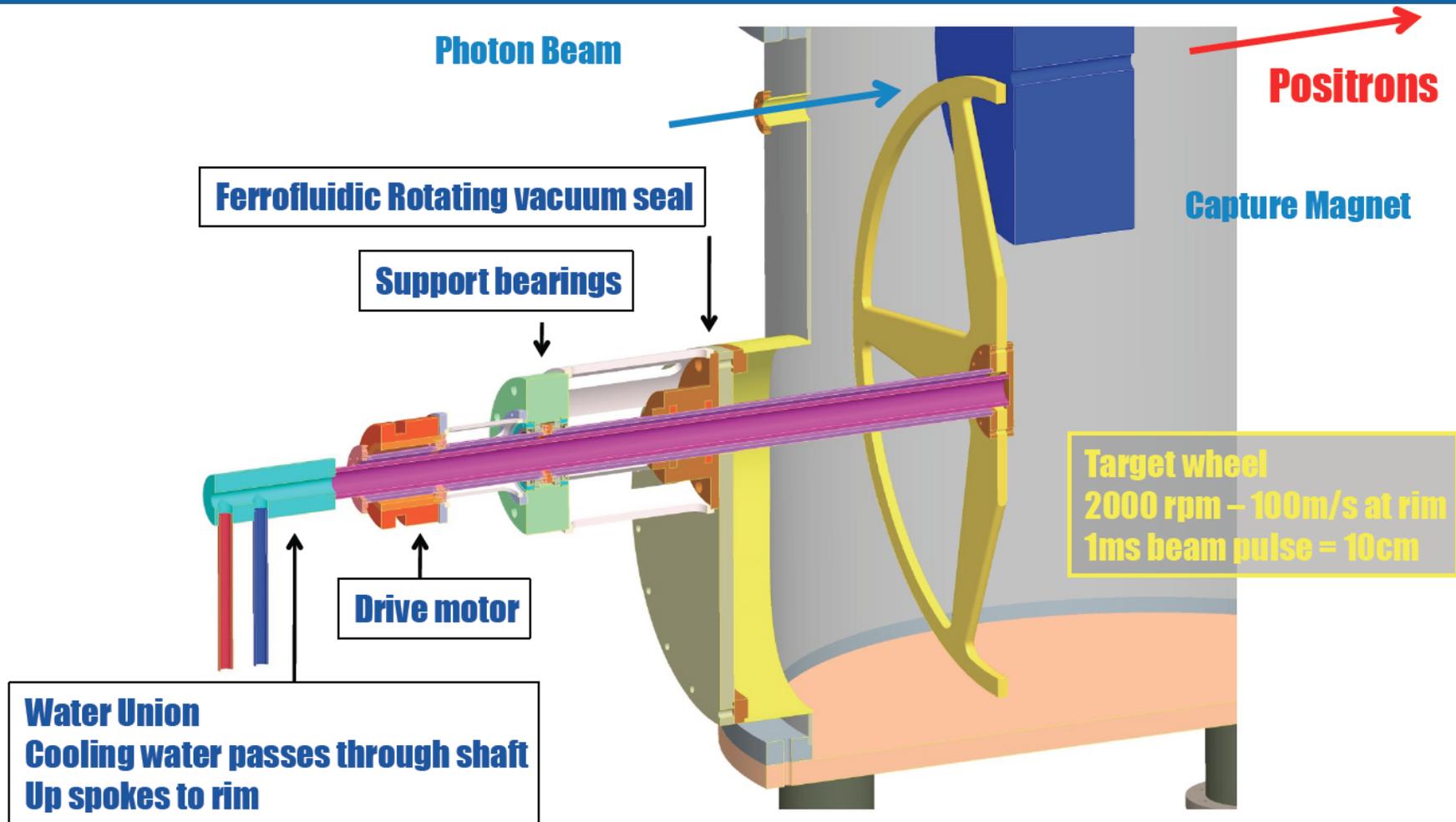
**Jeff Gronberg, Ryan Abbott, Owen Alford, Craig Brooksby, Ed
Cook, Pat Duffy, Jay Javedani, Nick Killington, Tom Piggott**

May 30, 2013 - ECFA 2013

Lawrence Livermore National Laboratory, P. O. Box 808, Livermore, CA 94551
This work performed under the auspices of the U.S. Department of Energy by
Lawrence Livermore National Laboratory under Contract DE-AC52-07NA27344

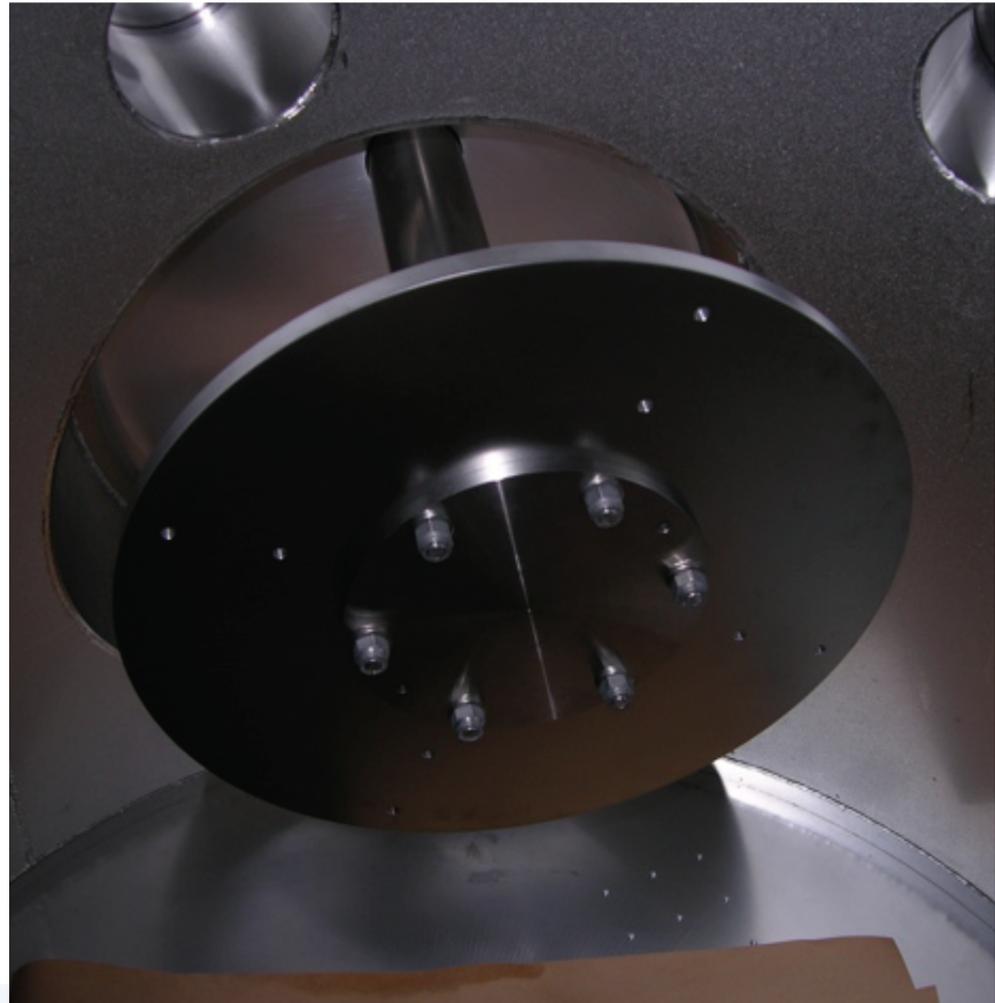
UCRL-XXXX-12345

We are doing design and prototyping of the rotating shaft seal and the capture magnet

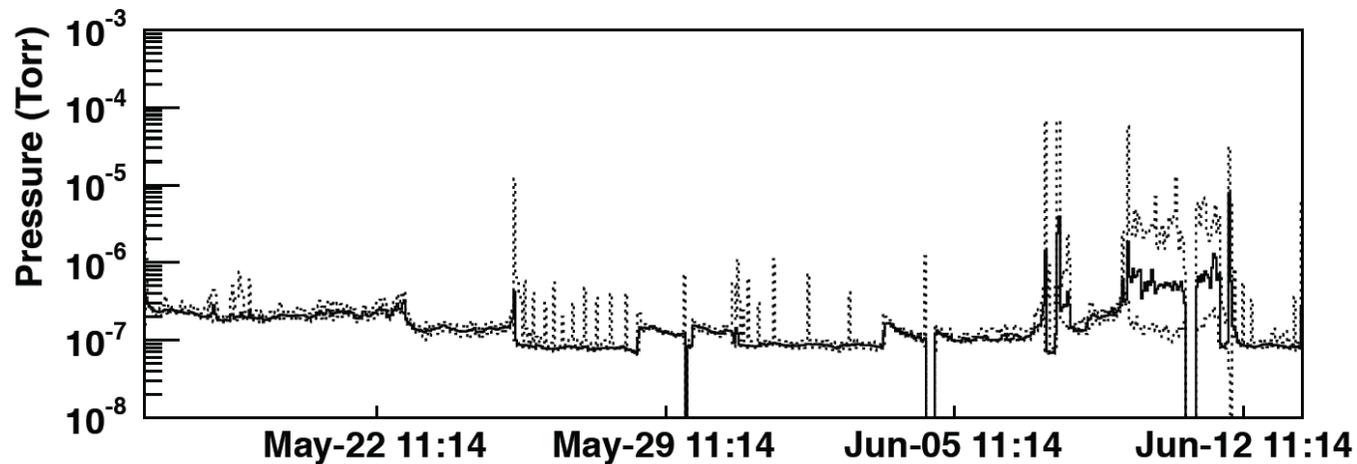
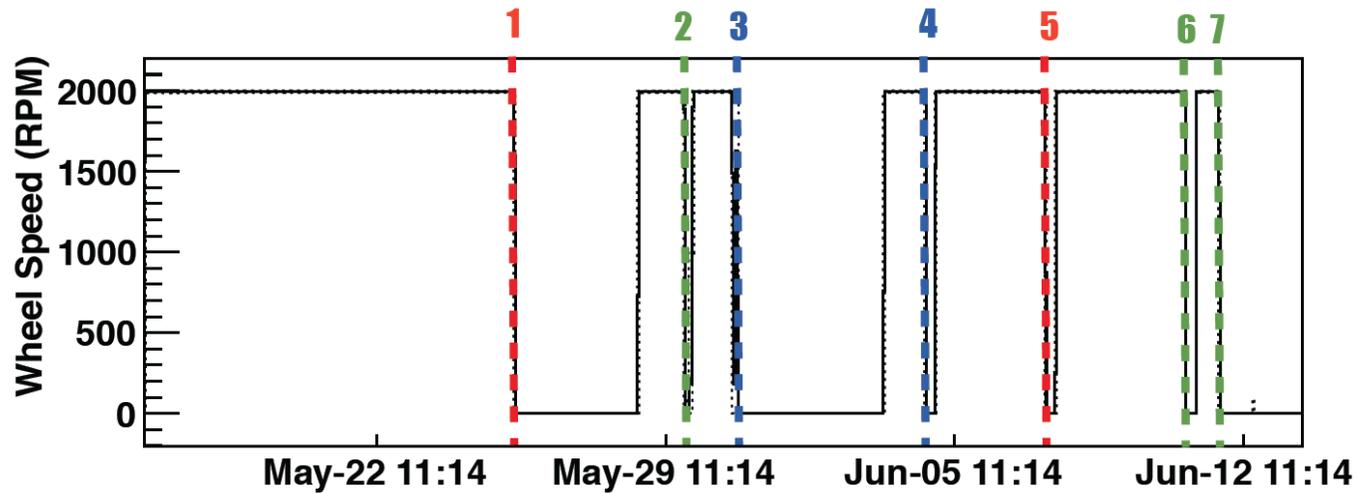


We have the English prototype wheel but have started with the medium disk

- Same weight as titanium wheel but lower moment of inertia
- No shielding required for safety
- Cooling water in the shaft has an effect on the balancing
- Not quite as stable a balance point as a solid shaft would have



FerroTec Seal #1 ran for 1 month (450 hours up)



Pressure Trip

System Trip

Planned Down

1 - Pressure Spike

2 - DAQ software change

3 - Cooling water flow

4 - Vibration Limit

5 - Pressure Spike

6 - Wheel stopped for pressure test

7 - System down for rework



LLNL での回転シールのテスト結果

1. 満足な結果を出したものは無い。
2. 市販品を買ってきて組み込んだだけではダメ。
3. これ以上先に進む為にはメーカーとの共同開発が必要
4. 今のところ LLNL はこれ以上先には進めていない。
ココでストップしている (2015年度のアメリカの予算復活に期待)

ターゲットは潜在的 show stopper

Undulator e+ 源の得失

利点

- ・ 偏極陽電子が得られる。

問題点(すべて「e- main linac を使う」ことに起因)

- ・ ILC の全システムが絡み合ったものになる。
- ・ undulator のアライメントが大変。
- ・ 「道のり合わせ」が大変。
- ・ コミッショニングが遅れる。

e+ 源のコミッショニングは電子ビームの
コミッショニング終了後でないと出来ない。

その後、e+ DR, e+ main linac のコミッショニングを行なう

- ・ ターゲットがキビシイ。

Undulator e+ 源の得失

利点

- ・ 偏極陽電子が得られる。

問題点(すべて「e- main linac を使う」ことに起因)

- ・ ILC の全システムが絡み合ったものになる。
- ・ undulator のアライメントが大変。
- ・ 「道のり合わせ」が大変。
- ・ コミッショニングが遅れる。

e+ 源のコミッショニングは電子ビームの
コミッショニング終了後でないと出来ない。

その後、e+ DR, e+ main linac のコミッショニングを行なう

複雑／大規模／独立性の無い
システム。実験開始の大幅な
遅れの可能性。
ただし時間をかければたぶん
出来る

- ・ ターゲットがキビシイ。

Undulator e+ 源の得失

利点

- ・ 偏極陽電子が得られる。

問題点(すべて「e- main linac を使う」ことに起因)

- ・ ILC の全システムが絡み合ったものになる。
- ・ undulator のアライメントが大変。
- ・ 「道のり合わせ」が大変。
- ・ コミッショニングが遅れる。

e+ 源のコミッショニングは電子ビームの
コミッショニング終了後でないと出来ない。

その後、e+ DR, e+ main linac のコミッショニングを行なう

複雑／大規模／独立性の無い
システム。実験開始の大幅な
遅れの可能性。
ただし時間をかければたぶん
出来る

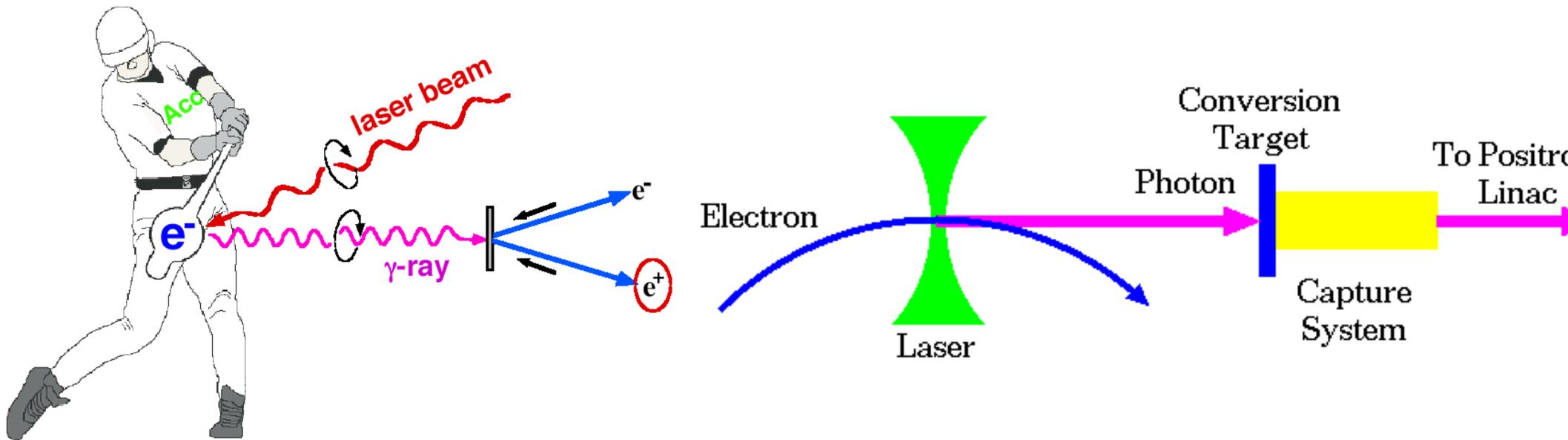
- ・ ターゲットがキビシイ。ターゲットのプロトタイプは未完成。確認無しで GO? 。
- No Positrons, No Collisions. アメリカの予算復活に期待。

別の方法(1)

Compton 陽電子源

レーザーコンプトン方式

- ▶ 数**GeV**の電子ビームとレーザー光子との逆コンプトン散乱
~ **30 MeV**ガンマ線.
- ▶ 円偏光レーザー光による偏極ガンマ線から偏極陽電子生成.
- ▶ レーザー波長がアンジュレーター周期長よりも小さく、電子のエネルギーは数**GeV**程度で容易にガンマ線を生成.
- ▶ 断面積が小さい、レーザーの収束長（焦点深度）が浅い



レーザーコンプトン方式

- ▶ 原理実証実験は既に完了

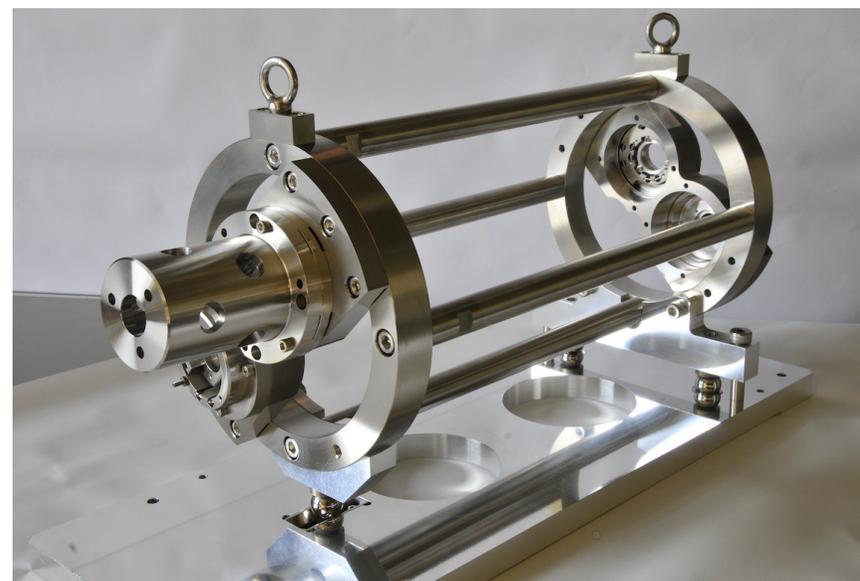
proof of principle experiment

M. Fukuda et al., Physical Review Letters 91, 164801 (2003)

T. Omori et al., Physical Review Letters 96, 114801(2006)

早稲田大学、首都大、成蹊大、KEKの共同研究

- ▶ 実用化の為には強度向上が鍵
- ▶ レーザー光蓄積空洞を共同開発中
早稲田・広島・成蹊・
フランス・IHEP・KEK
- ▶ 陽電子のバンチ毎蓄積も開発中
(今日は省略)
- ▶ X線生成で広範な応用



別の方法 (2)

300 Hz conventional 陽電子源

300 Hz scheme

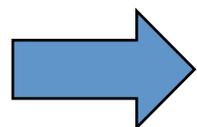
e+ generation in 63 m sec (cf. undulator : in 1 m sec)

Truly Conventional Collaboration
ANL, IHEP, Hiroshima U, U of Tokyo, KEK, DESY, U of Hamburg

NIM A672 (2012) 52—56

How?

- **Total Number of bunches: 2640**
- **Divide into 20 triplets
(1 Triplet = 3 Mini-Trains)**
- **Each triplet contains 132 bunches**
- **$2640 = 20 \times 132$**
- **300 Hz creation of triplets
triplet to triplet time space = 3.3 m sec**
- **Create 20 triplets : 63 m sec**



Stretching in time

Conventional e+ Source for ILC

Normal Conducting Drive and Booster Linacs in 300 Hz operation

e+ creation

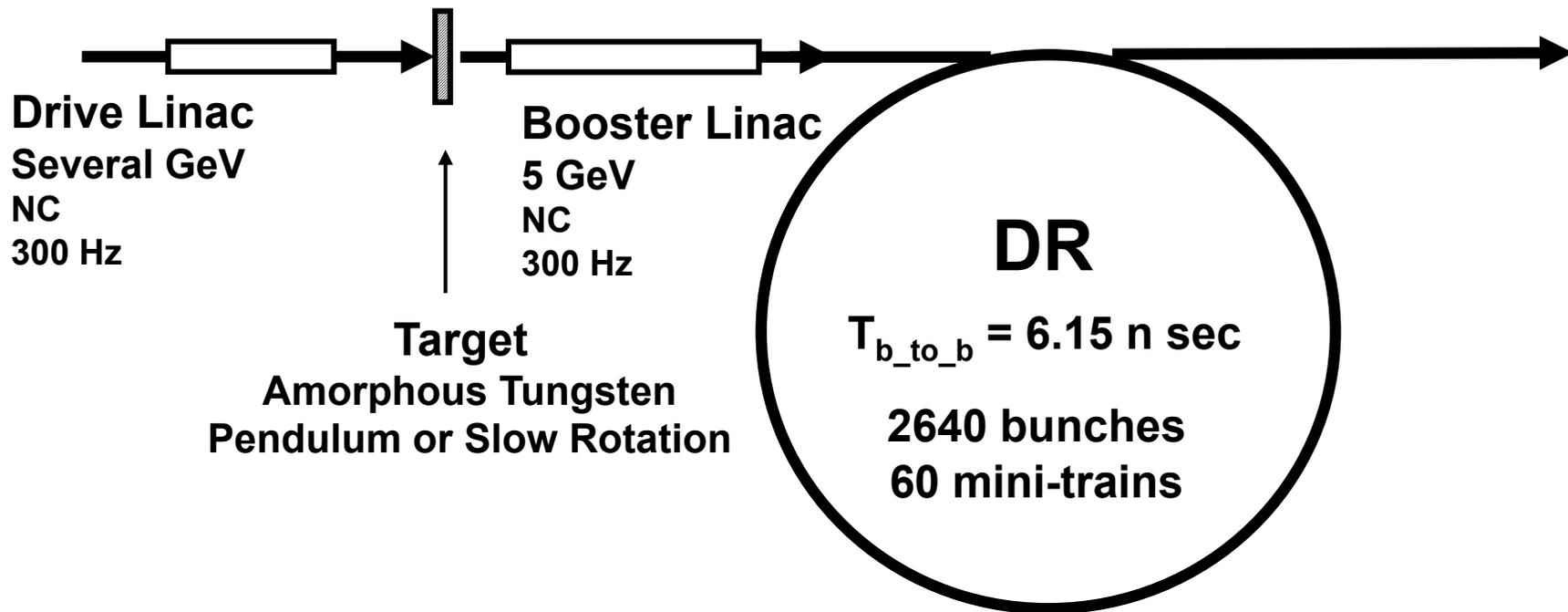
20 triplets, rep. = 300 Hz

- triplet = 3 mini-trains with gaps
- 44 bunches/mini-train, $T_{b_to_b} = 6.15$ n sec

go to main linac

2640 bunches/train, rep. = 5 Hz

- $T_{b_to_b} = 369$ n sec



Time remaining for damping = 137 m sec

We create 2640 bunches
in 63 m sec

Conventional e+ Source for ILC

Normal Conducting Drive and Booster Linacs in 300 Hz operation

e+ creation

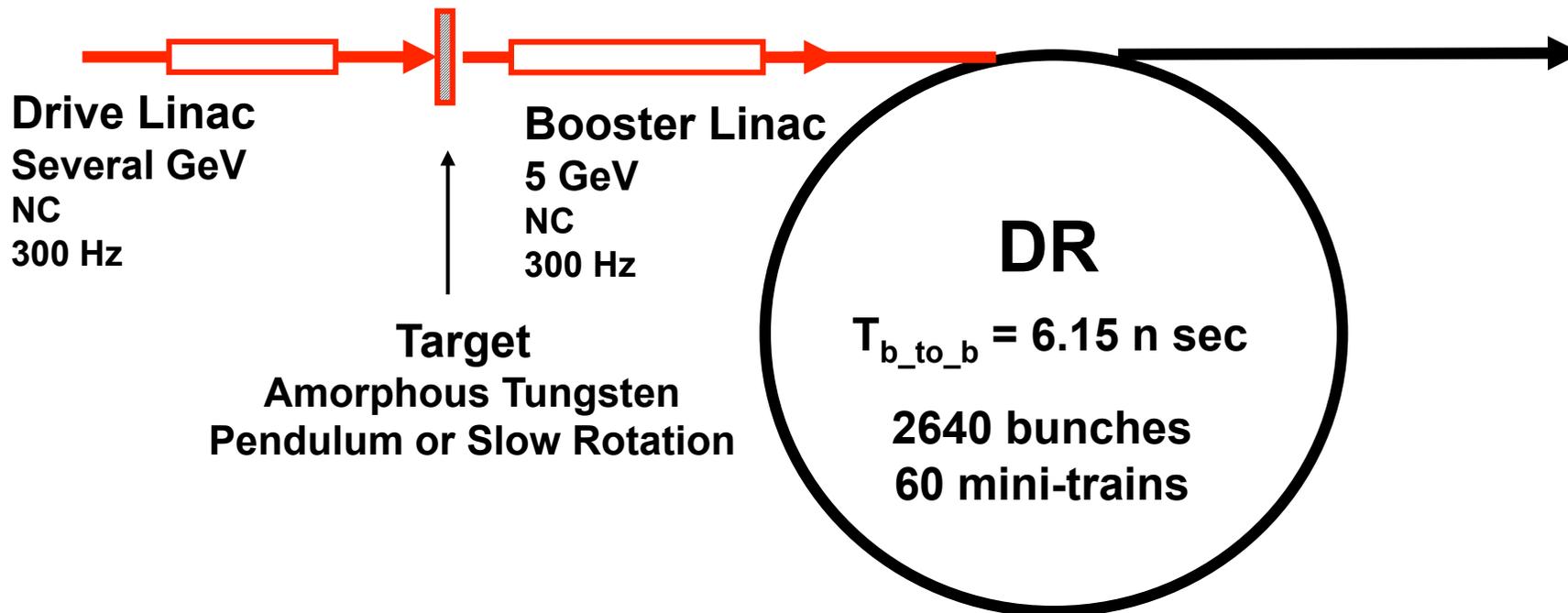
20 triplets, rep. = 300 Hz

- triplet = 3 mini-trains with gaps
- 44 bunches/mini-train, $T_{b_to_b} = 6.15$ n sec

go to main linac

2640 bunches/train, rep. = 5 Hz

- $T_{b_to_b} = 369$ n sec

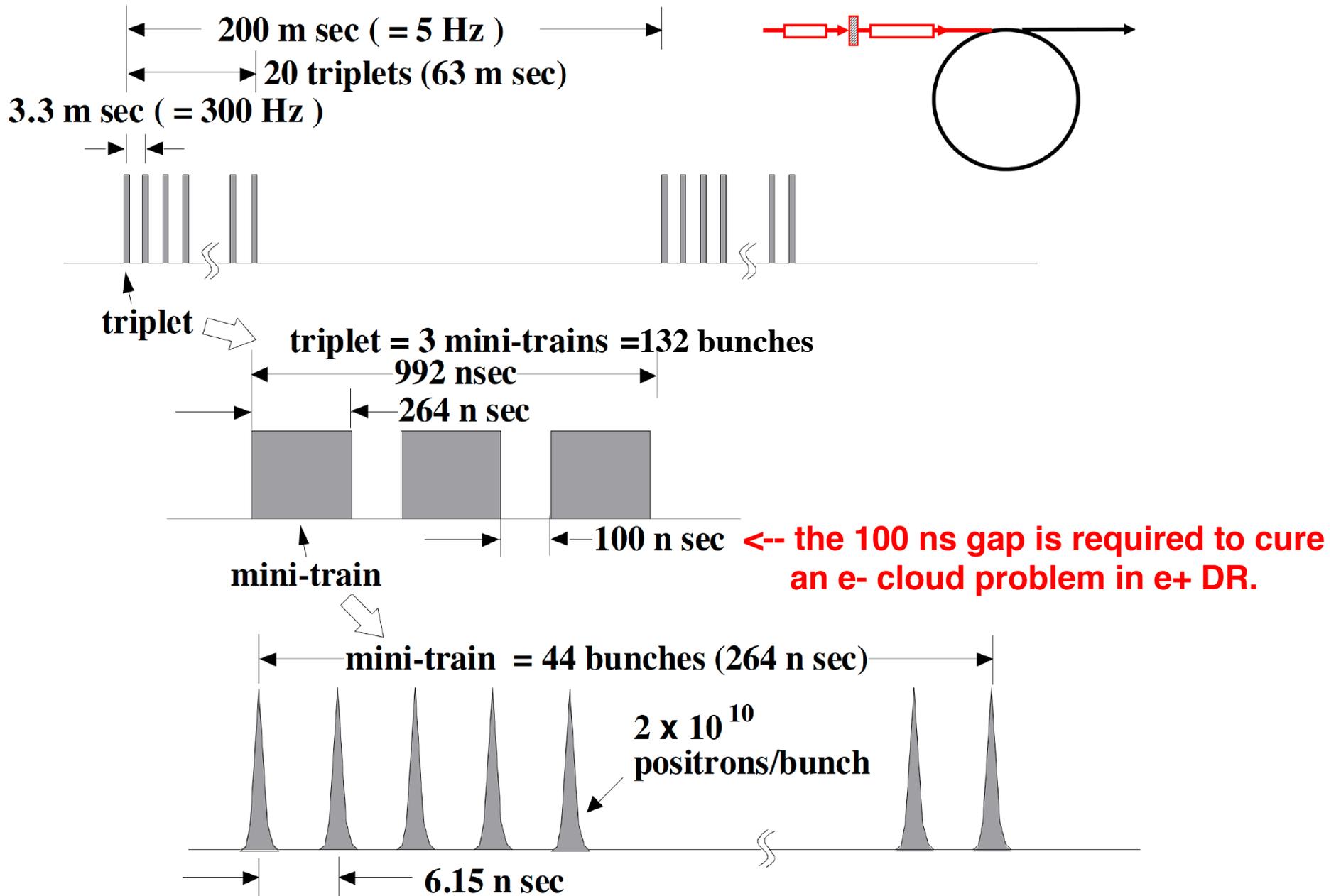


Time remaining for damping = 137 m sec

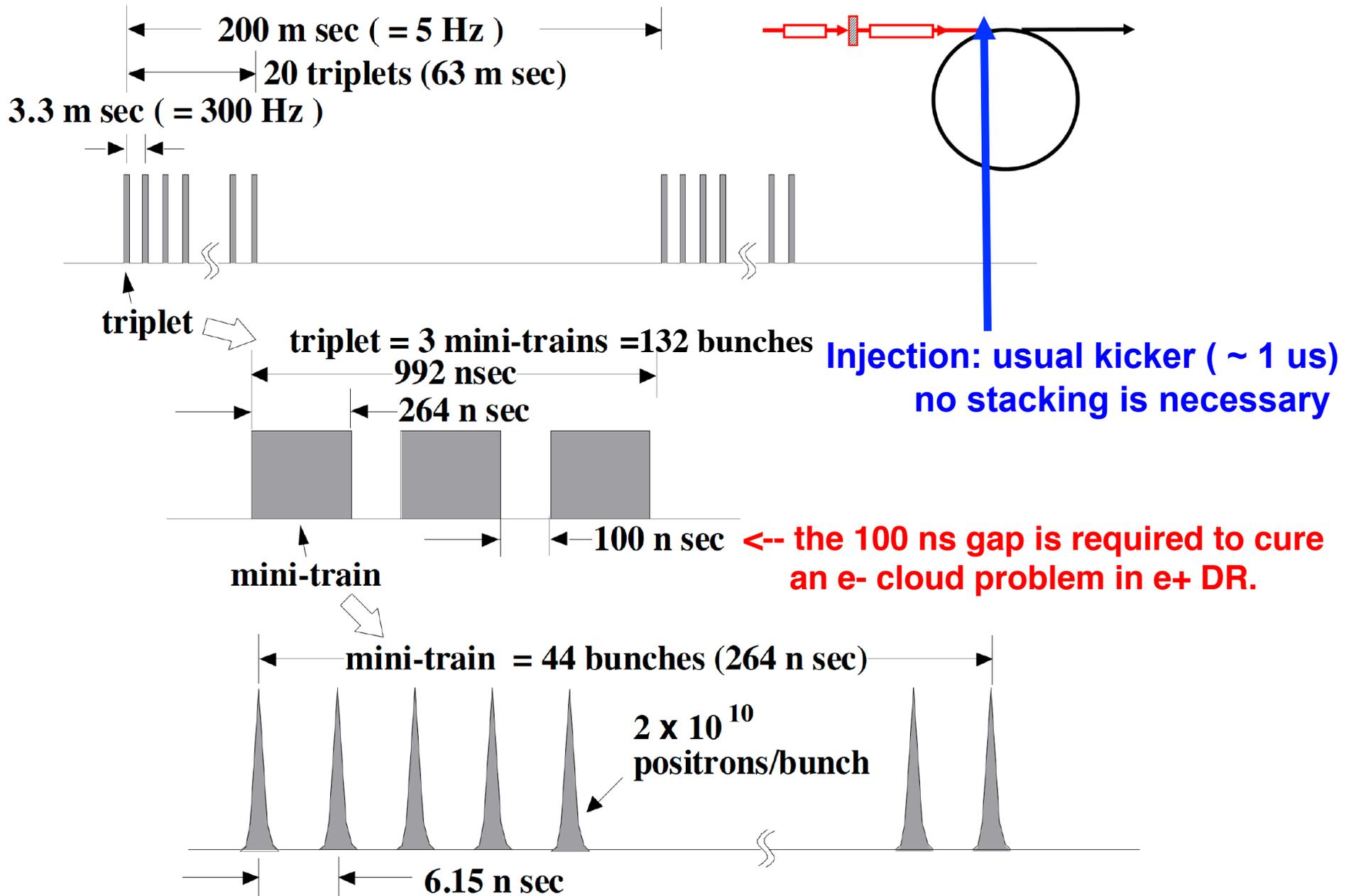
We create 2640 bunches
in 63 m sec

← Stretching

Beam before DR



Beam before DR



Conventional e+ Source for ILC

Normal Conducting Drive and Booster Linacs in 300 Hz operation

e+ creation

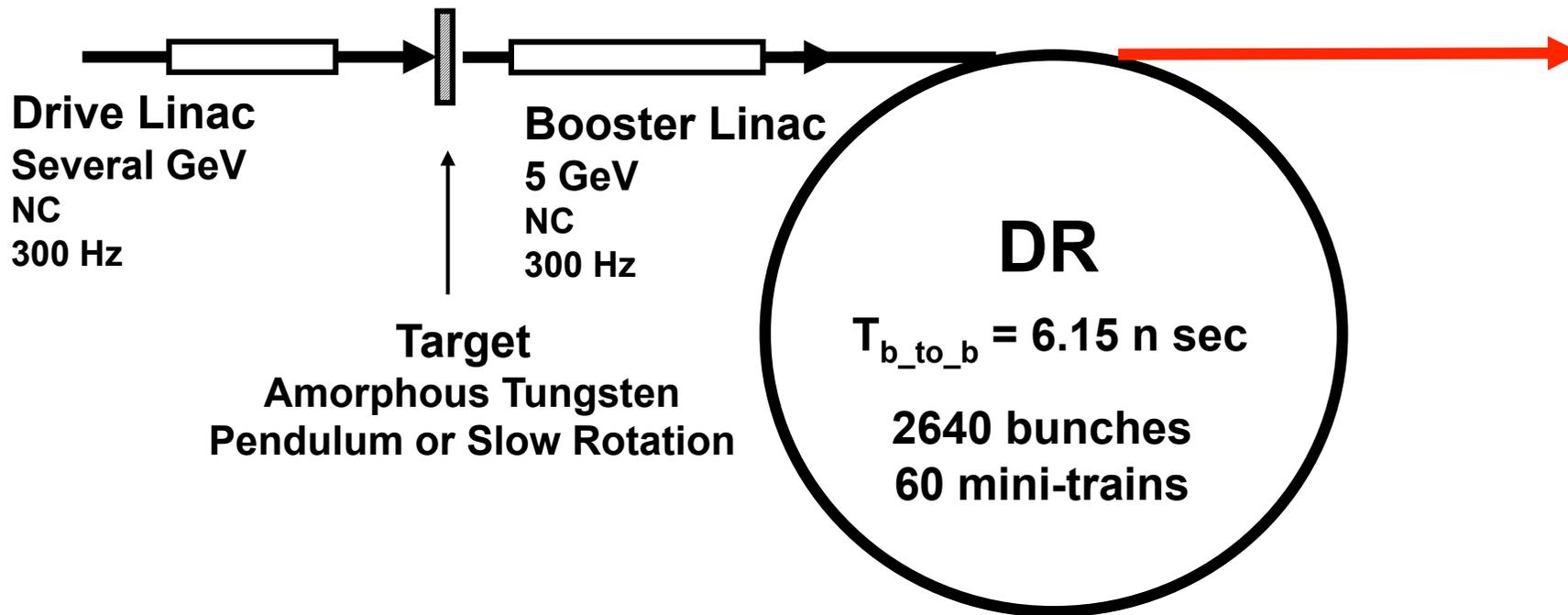
20 triplets, rep. = 300 Hz

- triplet = 3 mini-trains with gaps
- 44 bunches/mini-train, $T_{b_to_b} = 6.15$ n sec

go to main linac

2640 bunches/train, rep. = **5 Hz**

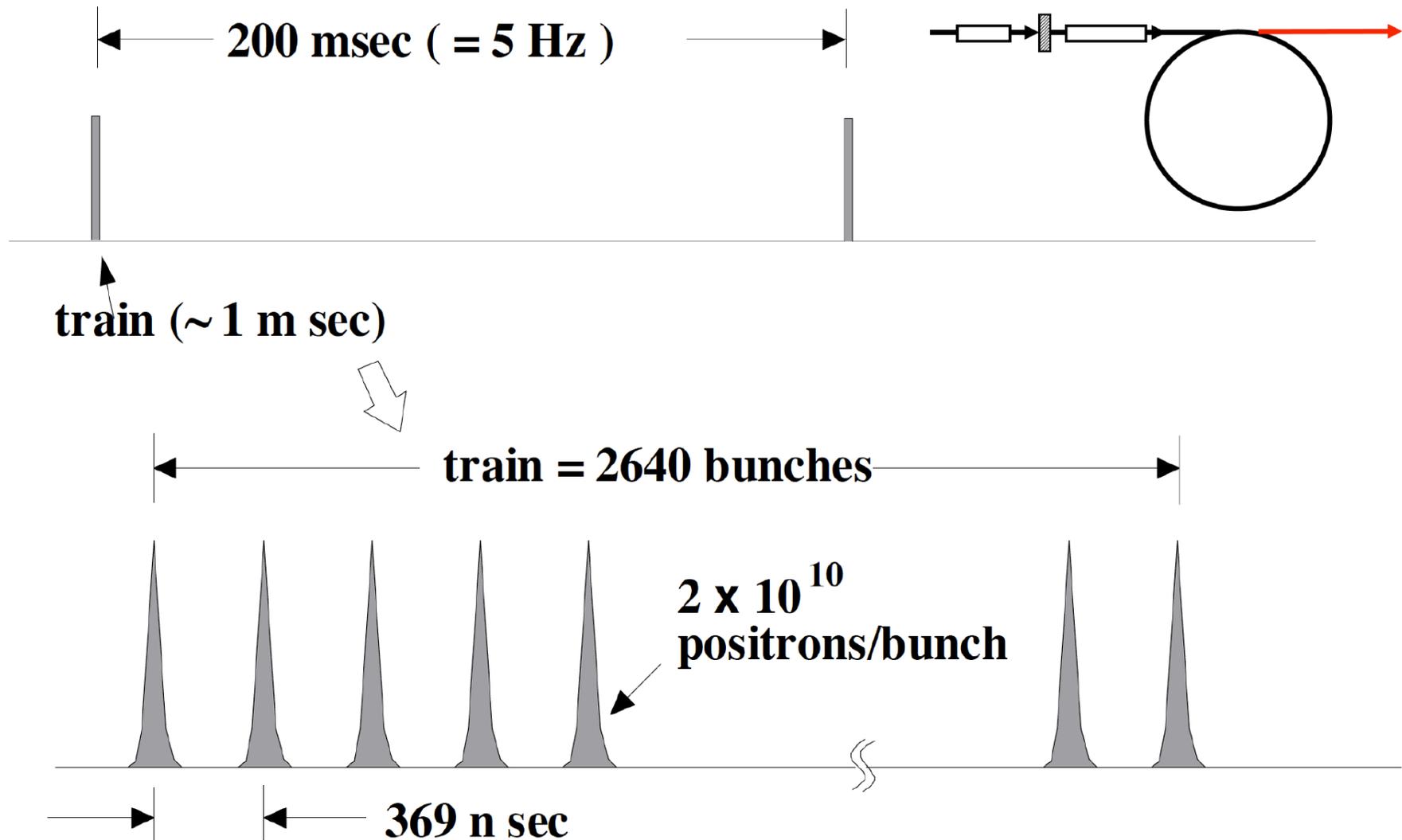
- $T_{b_to_b} = 369$ n sec



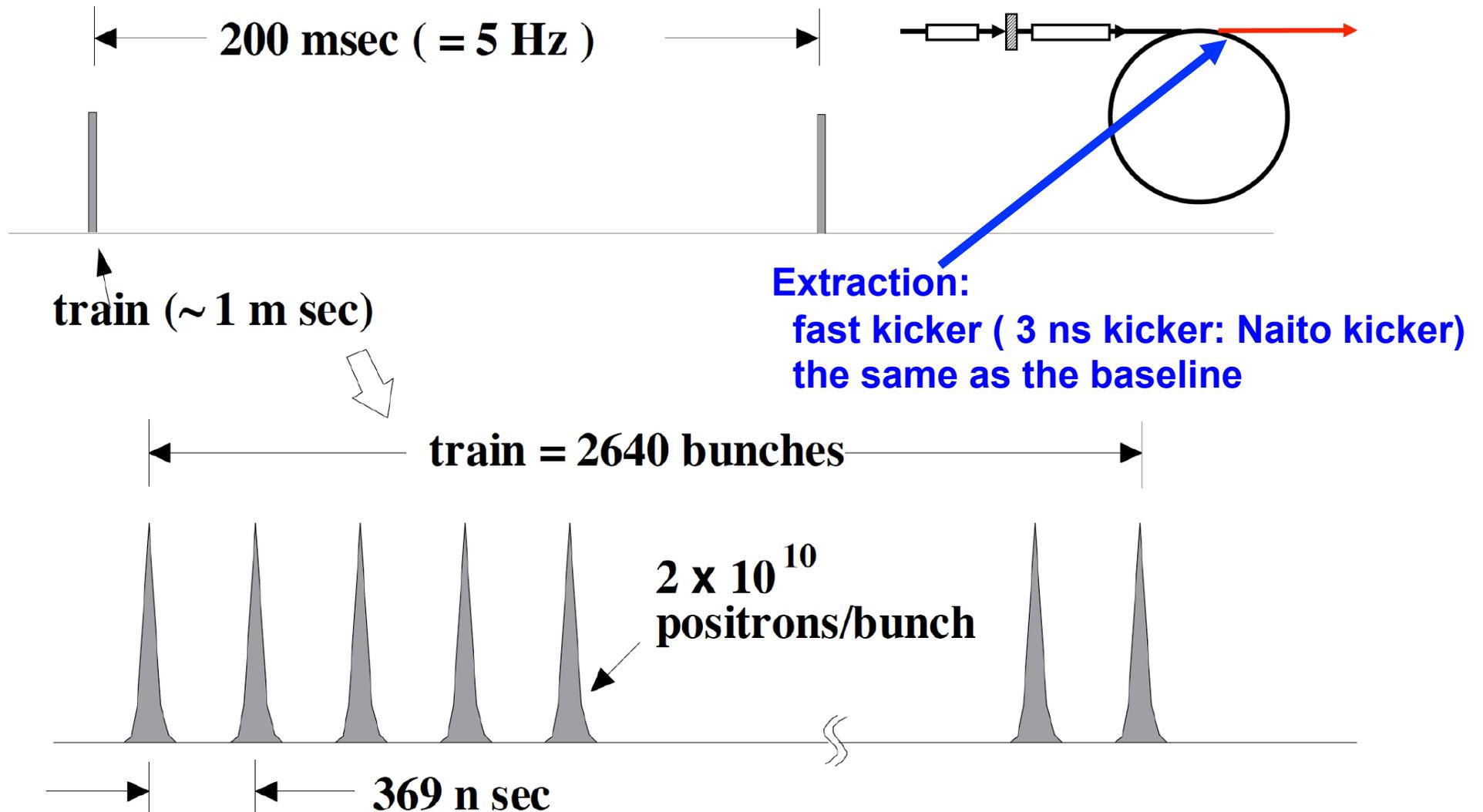
Time remaining for damping = 137 m sec

We create 2640 bunches
in 63 m sec

Beam after DR



Beam after DR



Target and Drive_Beam Optimization

Parameter Plots for 300 Hz scheme

e- directly on to Tungsten

$\sigma=4.0\text{mm}$

$N_{e^-}(\text{drive}) = 2 \times 10^{10} / \text{bunch}$

colored band

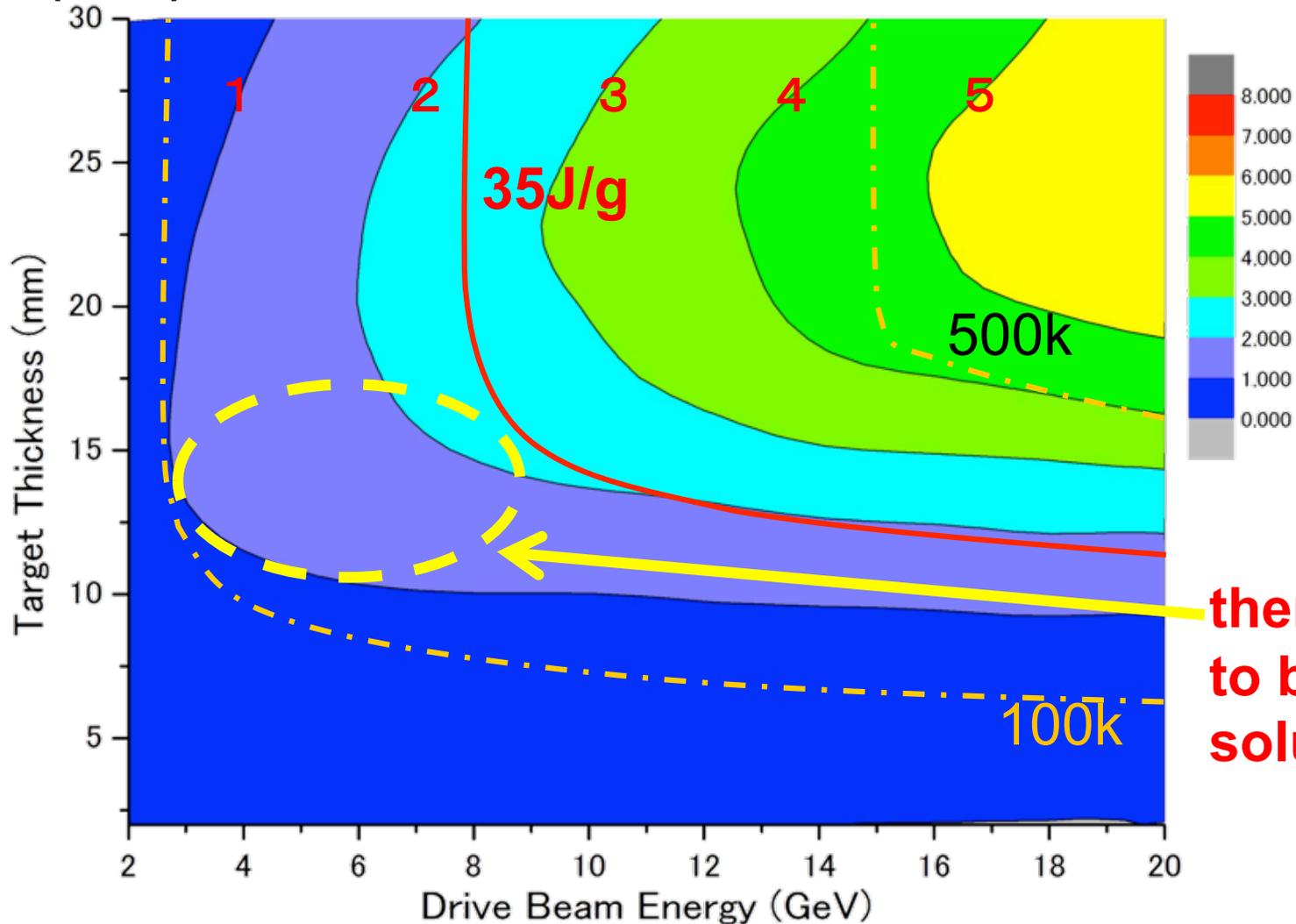
accepted e+/e-



PEDD J/g



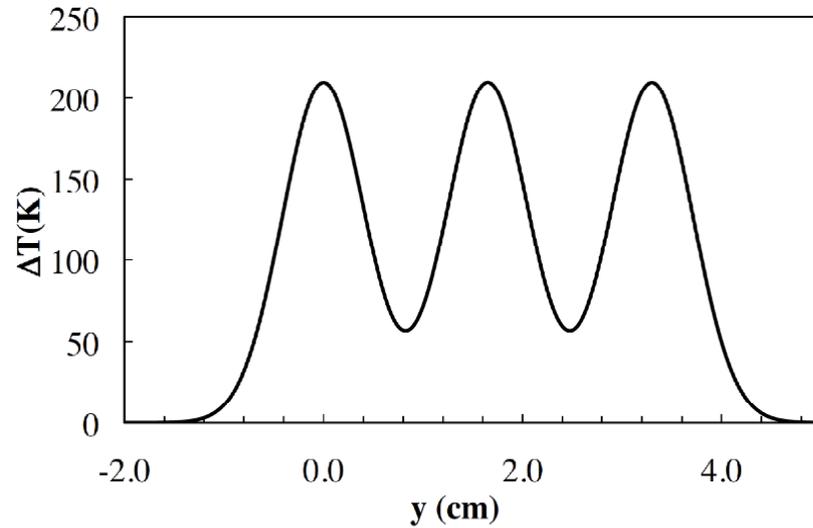
dT max by a triplet



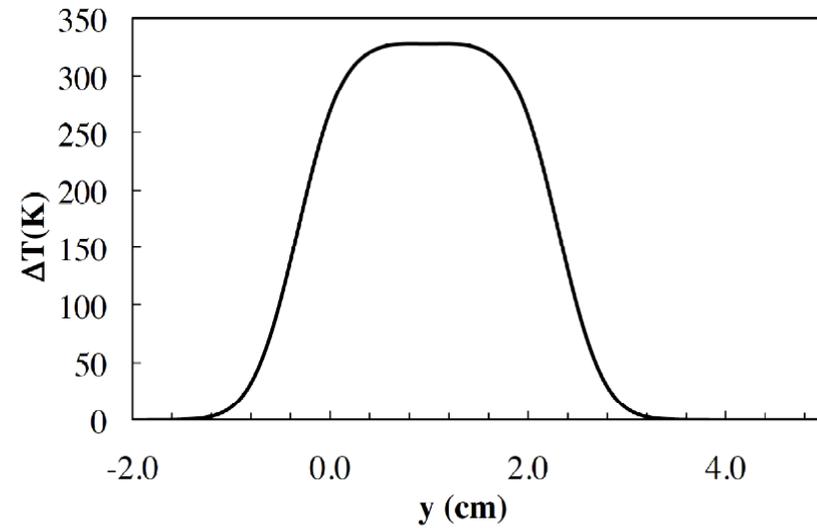
there seems to be solutions

Target Heat Simulation (Warming)

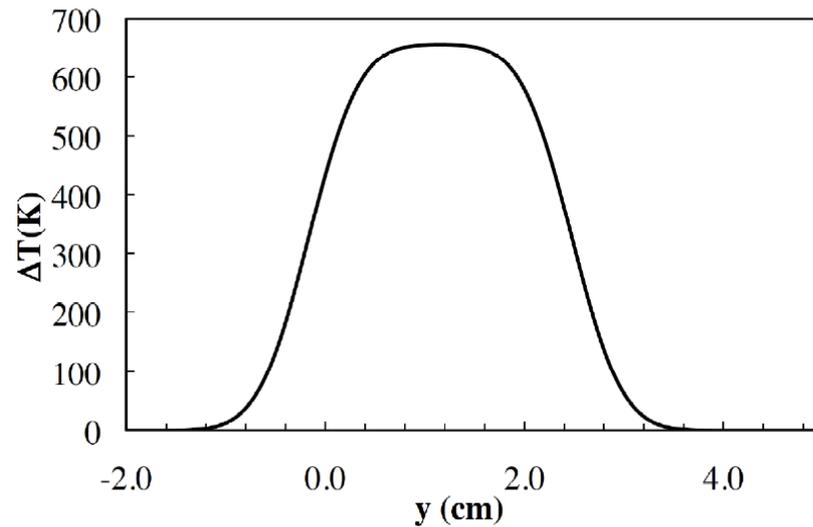
(a) 5 m/s, after 3 triplets



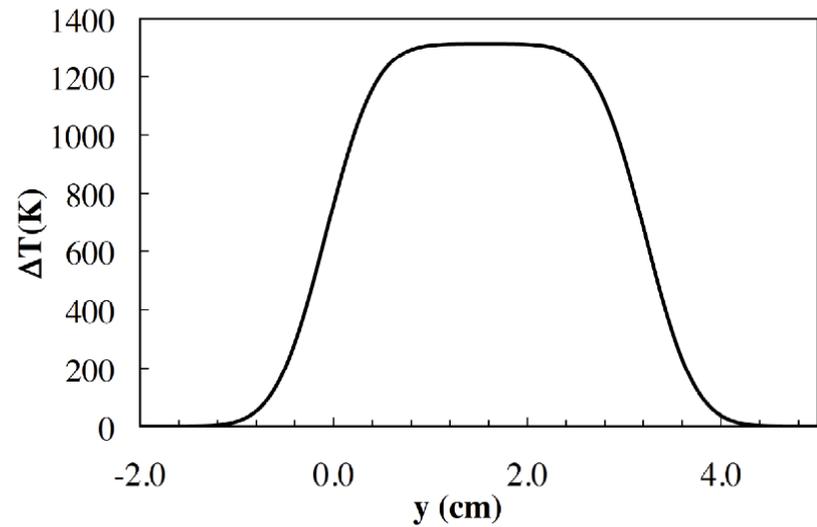
(b) 2 m/s, after 4 triplets



(c) 1 m/s, after 8 triplets

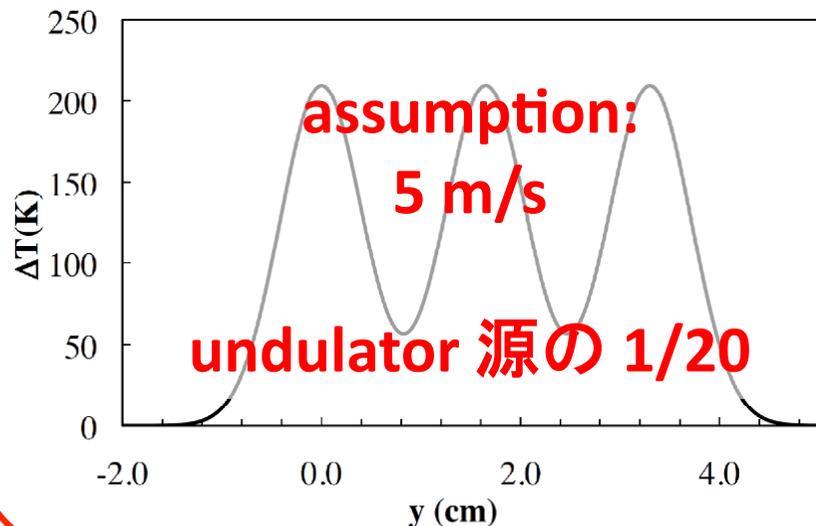


(d) 0.5 m/s, after 20 triplets

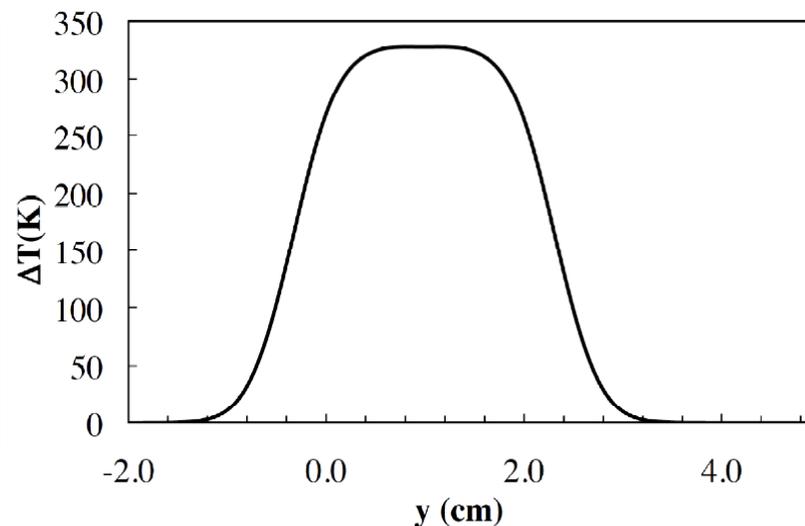


Target Heat Simulation (Wanming)

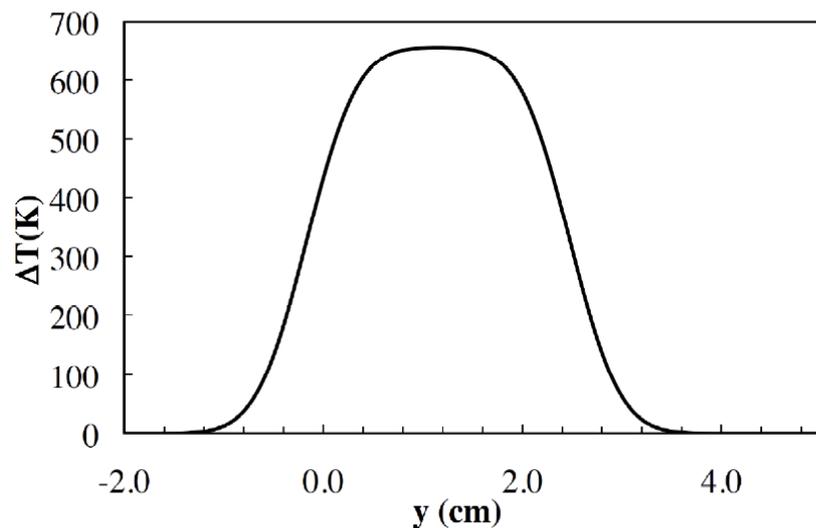
(a) 5 m/s, after 3 triplets



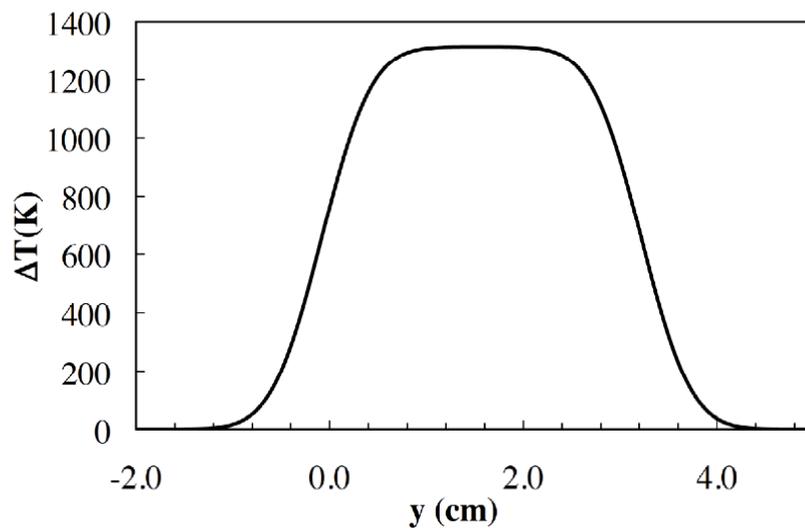
(b) 2 m/s, after 4 triplets



(c) 1 m/s, after 8 triplets



(d) 0.5 m/s, after 20 triplets



R/D items

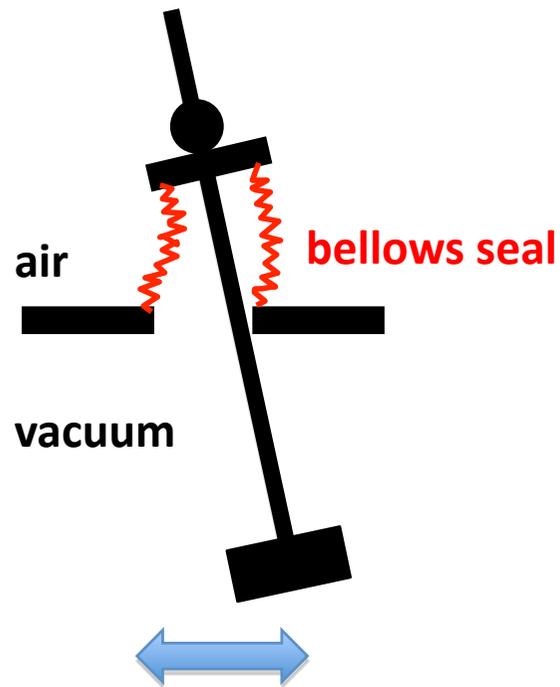
R&R Issues of the Conventional Source

- “conventional” but still needs some more R&D
- High current, high rep rate driver linac
- Moving target
- Flux concentrator
- Booster linac
- Overall simulation

Moving Target

- ~5m/sec required (1/20 of undulator scheme)
- 2 possible schemes being developed at KEK

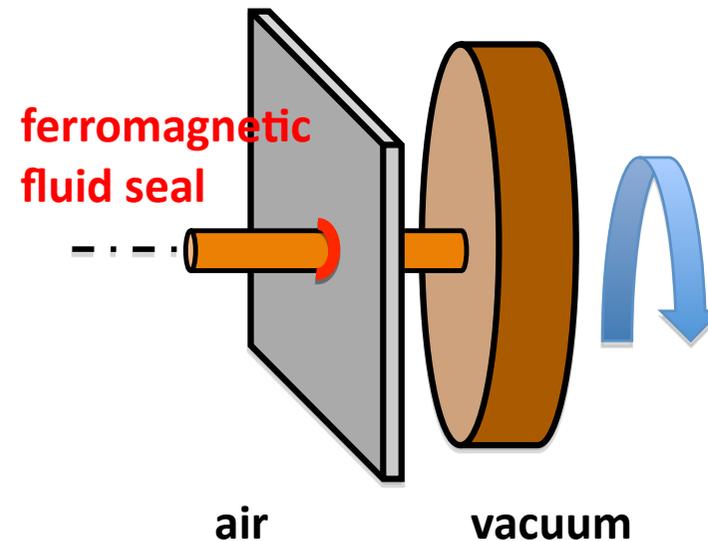
5Hz pendulum with bellows seal



main issue: life of bellows

First step prototype fabricated

rotating target with ferromagnetic seal



main issue: vacuum

今後のすすめ方

どのように議論を進めて
コンセンサスを作っていくか

**Undulator-Conventional
Footprint Compatibility**

Nick's Suggestion@ADI-CFS(Tokyo, April 2014)

Both in the tunnel

300 Hz conventional e⁺ source



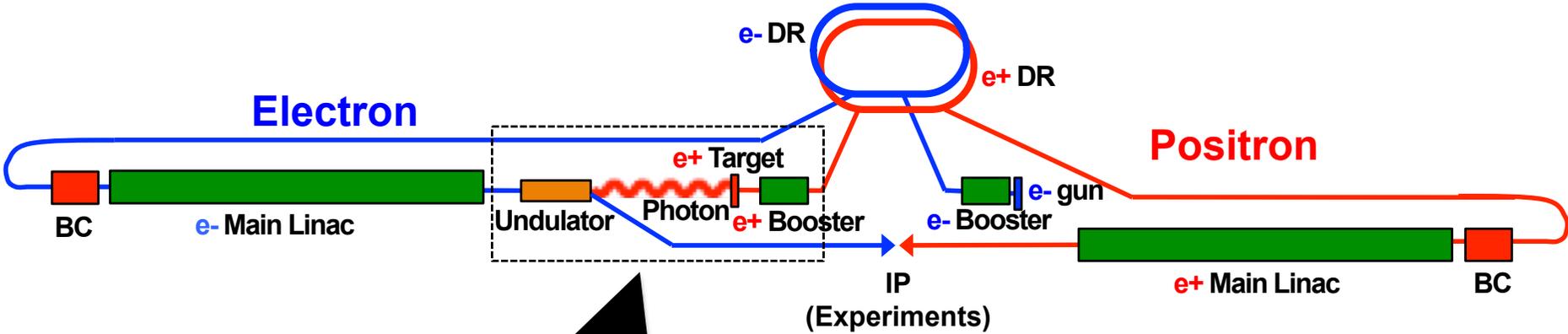
undulator e⁺ source



Try to follow Nick's Suggestion

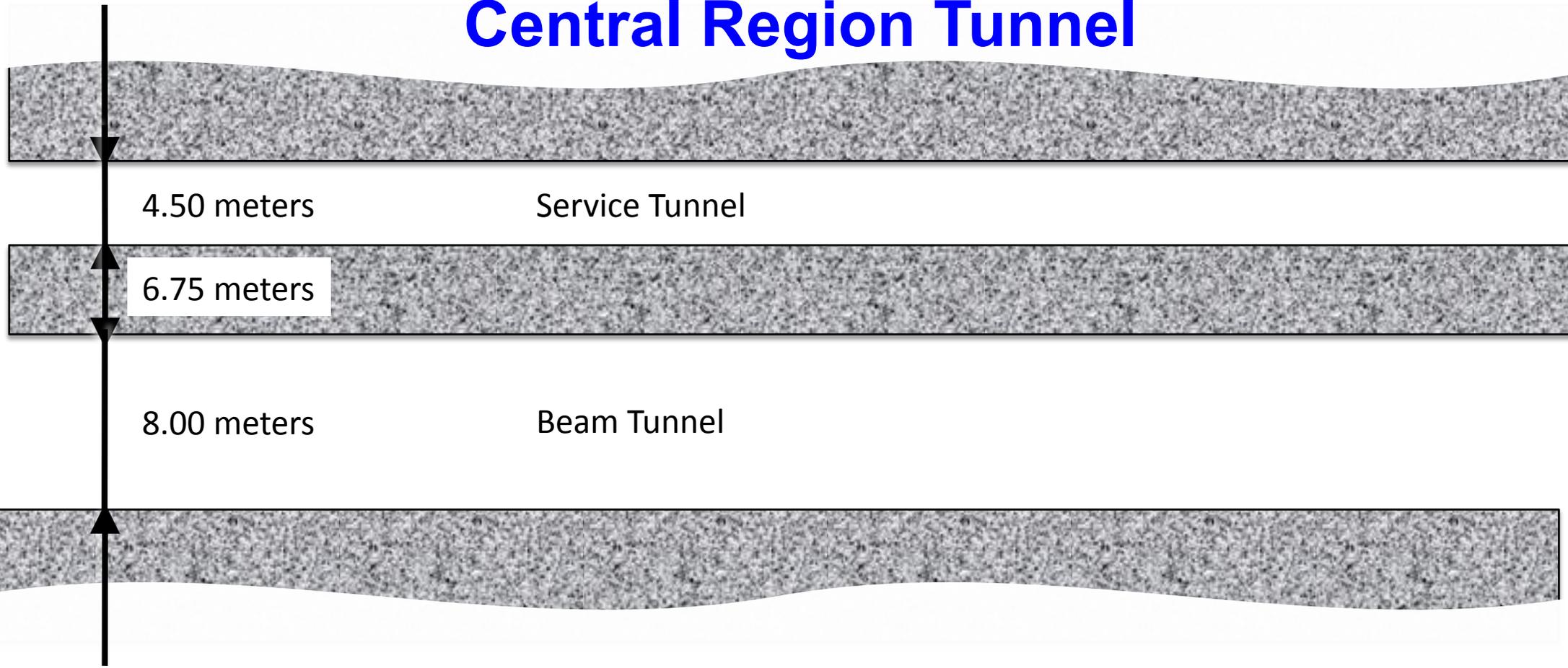
両方を今のトンネルに入れる事
が出来るか？

ILC Undulator-based e^+ Source



ココをよく見てみよう

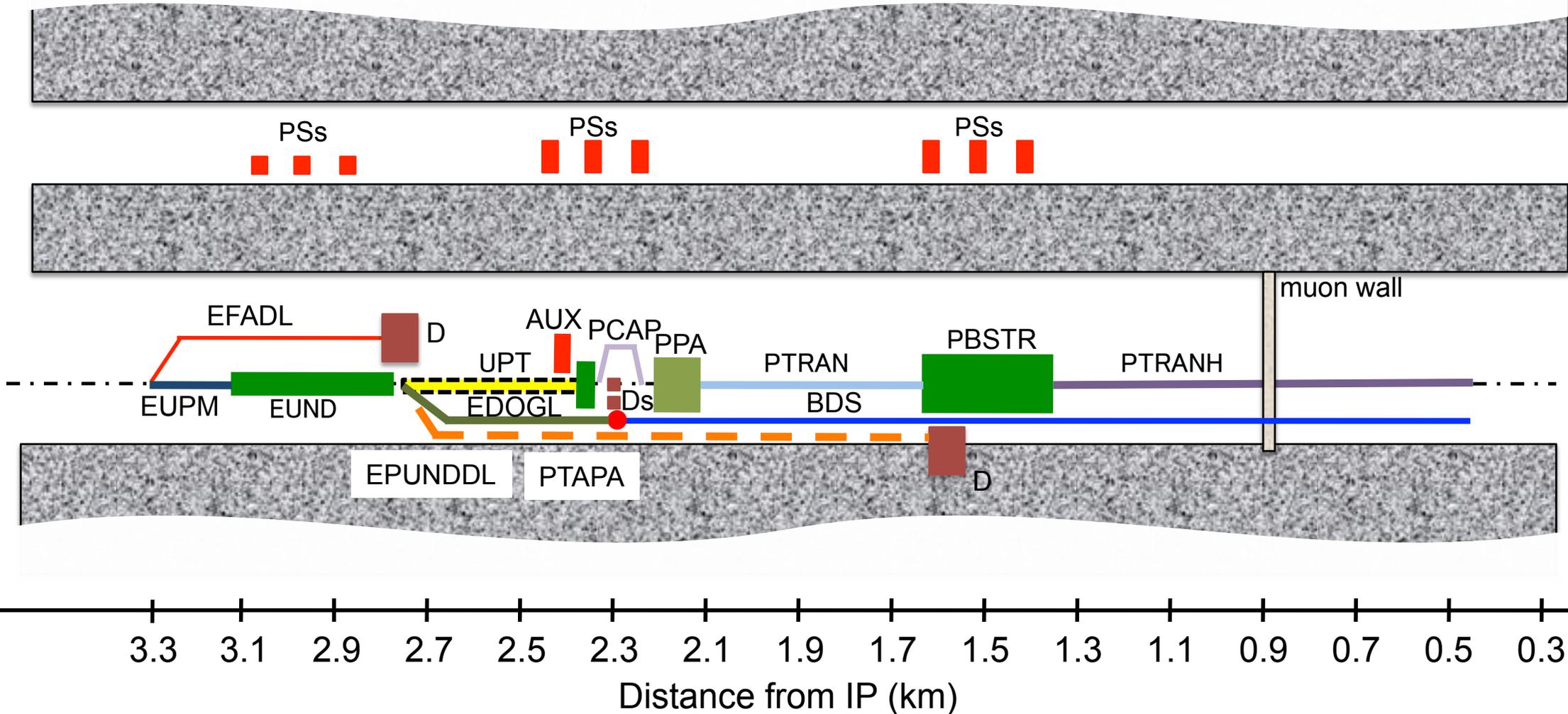
Central Region Tunnel



完全なツイン・トンネルになっている

The Tunnel is Wide.

Undulator Source in Central Region Tunnel

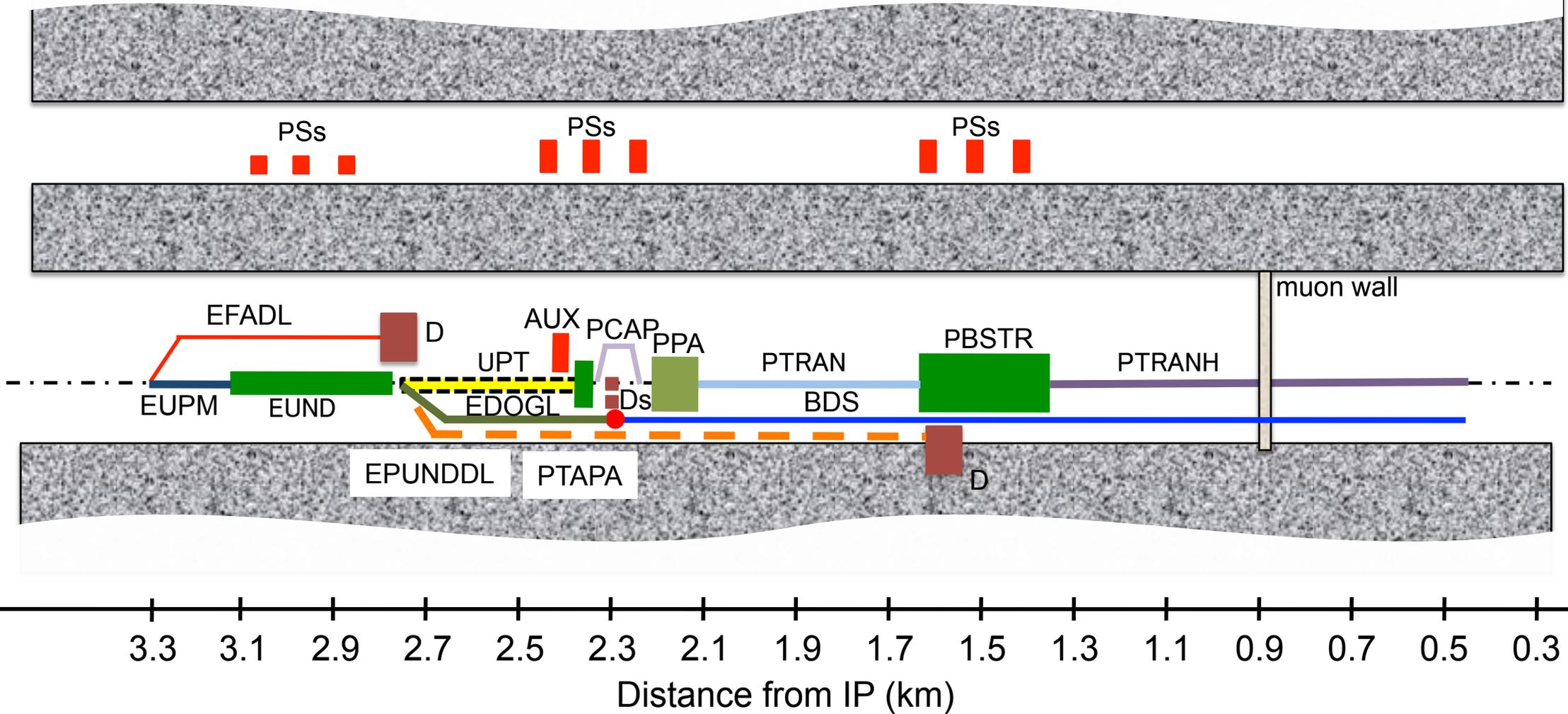


EUPM Electron Undulator Protection and Matching
 EUND Electron Undulator Section
 EFADL Electron Fast Abort Line
 UPT Undulator Photon Transport to Target
 PTAPA Positron Source Target Area and Pre-Accelerator
 EDOGL Electron Dogleg
 EPUNDDL Electron Post-Undulator Dump Line

PCAP Positron Source Capture Section
 PPA Positron Source Pre-Accelerator
 PTRAN Positron Source Transfer Line
 PBSTR Positron Source 5GeV Booster
 PTRANH Positron Source Transfer Line (High Energy)
 AUX Auxilliary Source

ref. G-05, G-06, U-04, U-05, U-06, U-07, U-08, U-09, U-10, U-11

Undulator Source in Central Region Tunnel



EUPM EI
 EUND EI
 EFADL EI
 UPT U

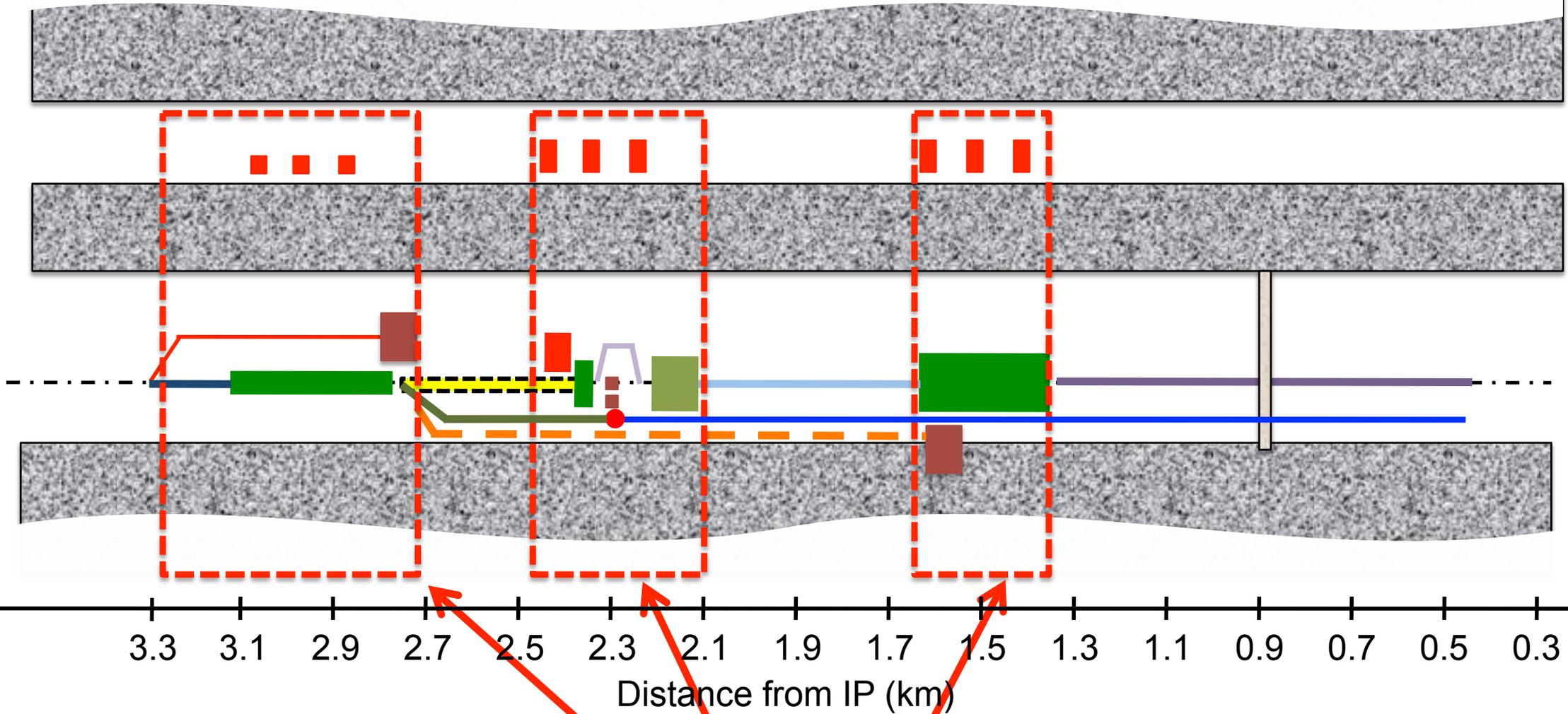
PTAPA Positron Source Target Area and Pre-Accelerator
 EDOGL Electron Dogleg
 EPUNDDL Electron Post-Undulator Dump Line

The Undulator Source is Long.

PTRANH Positron Source Transfer Line (High Energy)
 AUX Auxilliary Source

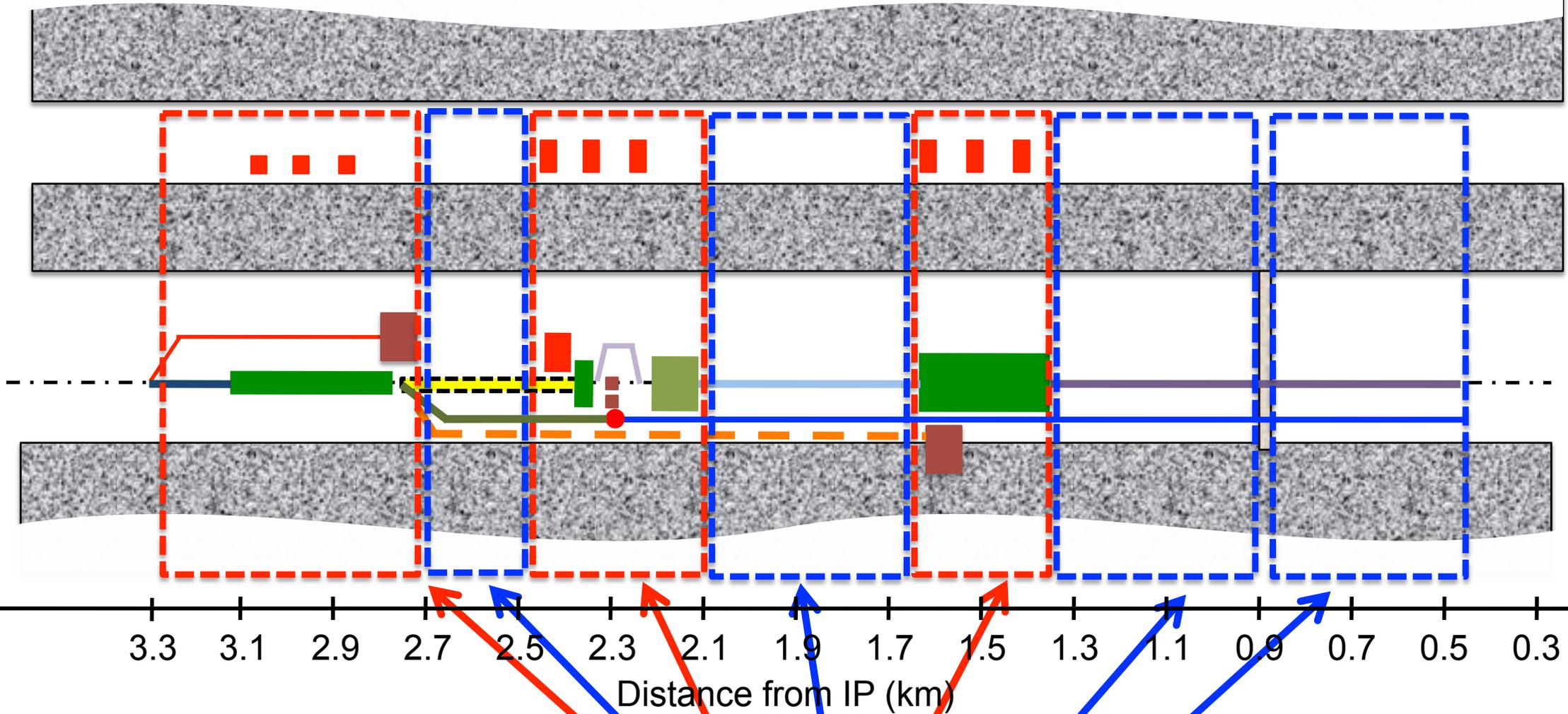
ref. G-05, G-06, U-04, U-05, U-06, U-07, U-08, U-09, U-10, U-11

Undulator Source in Central Region Tunnel



Busy Areas

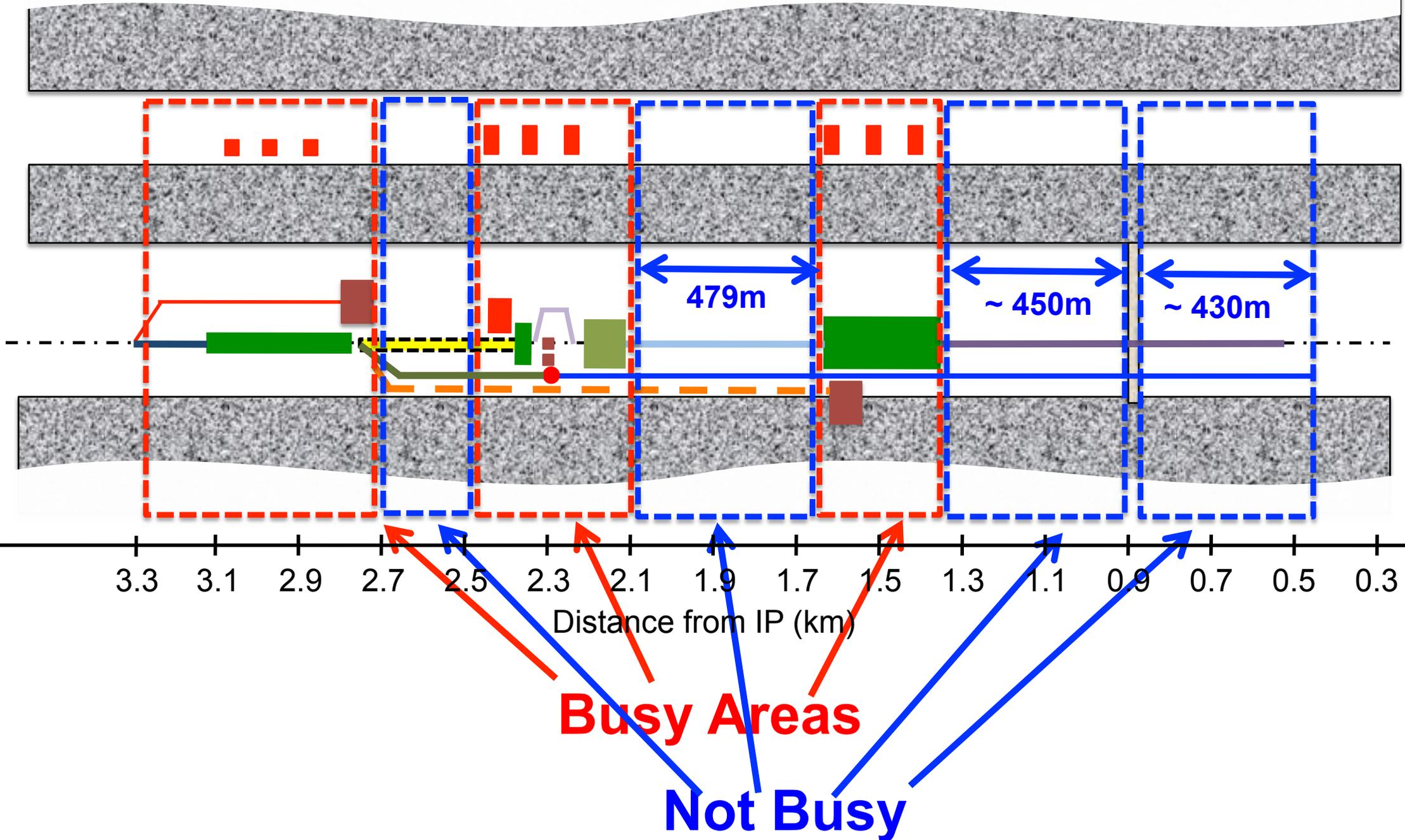
Undulator Source in Central Region Tunnel



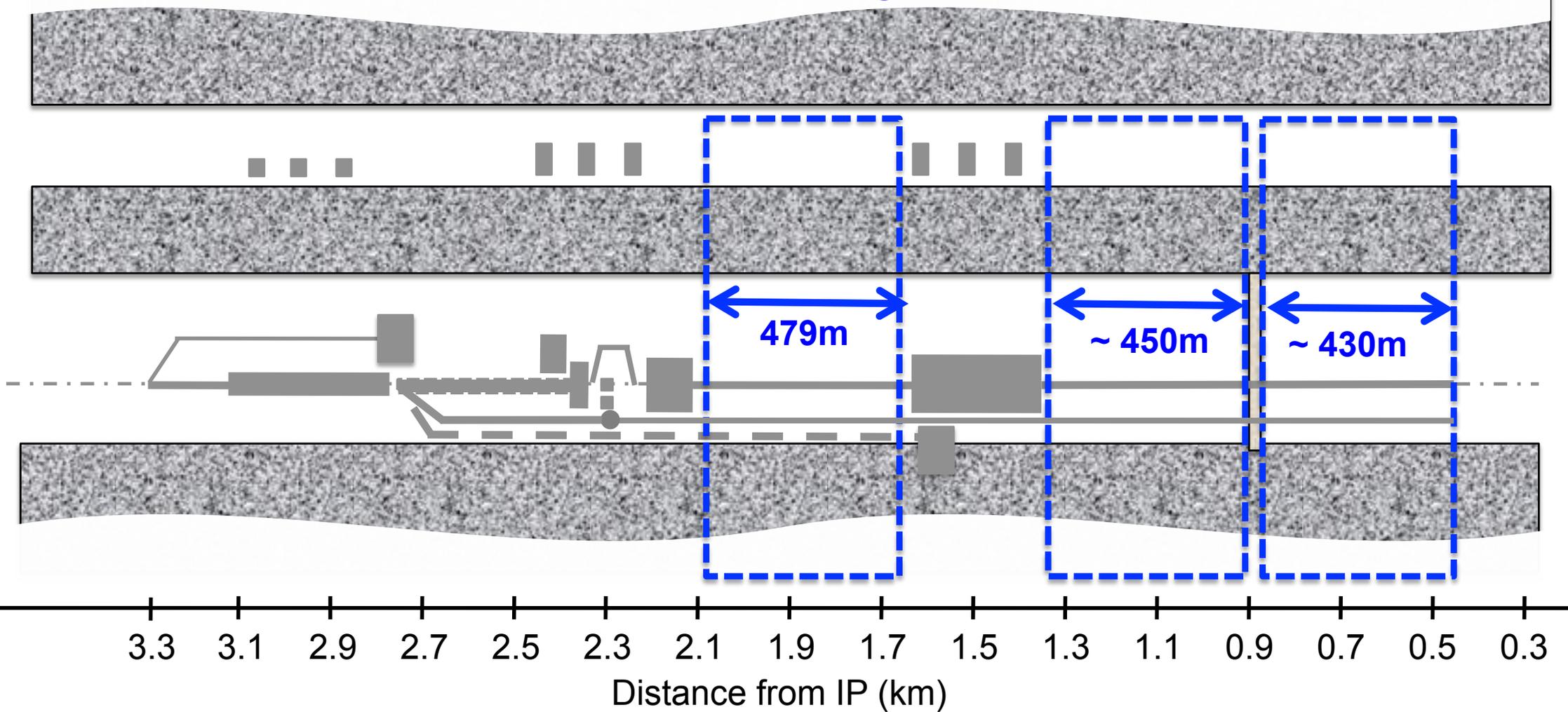
Busy Areas

Not Busy

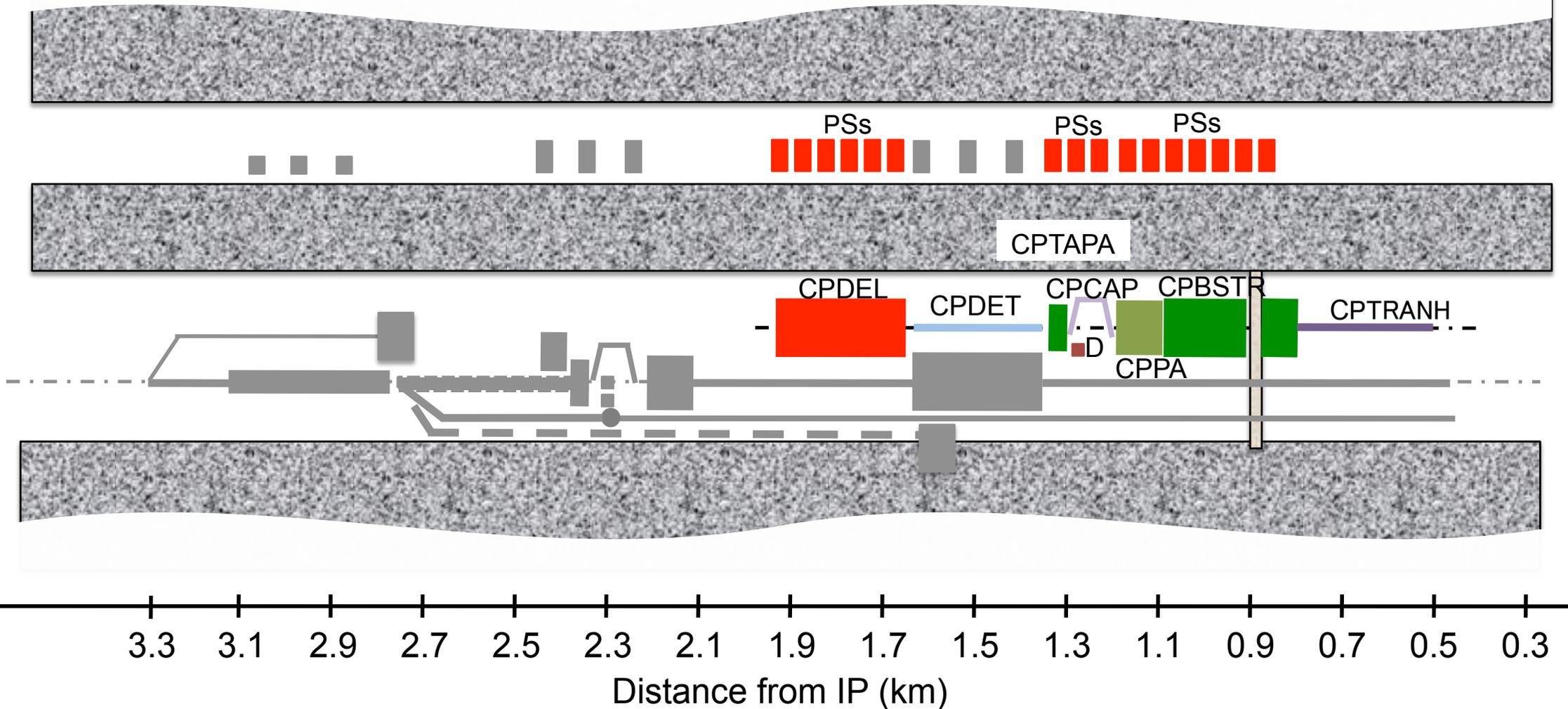
Undulator Source in Central Region Tunnel



Use Not-Busy Areas



Conventional Source in Central Region Tunnel



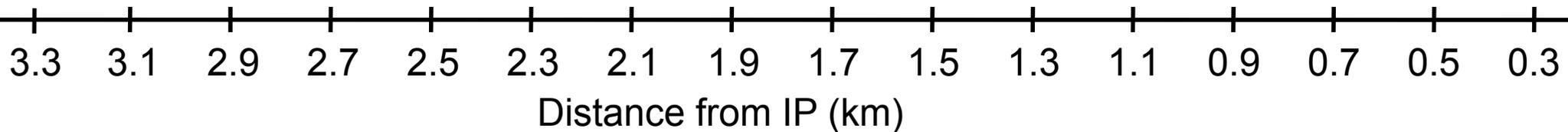
- CPDEL Conventional Positron Source Drive Electron Linac
- CPTAPA Positron Source Target Area and Pre-Accelerator
- CPCAP Conventional Positron Source Capture Section
- CPPA Conventional Positron Source Pre-Accelerator
- CPDET Conventional Positron Source Drive Electron Transfer Line
- CPBSTR Conventional Positron Source 5GeV Booster
- CPTRANH Conventional Positron Source Transfer Line (High Energy)

Both Sources in Central Region Tunnel

Conventional Source



Undulator Source



Footprint Compatibility
Both Sources in TDR Tunnel

Footprint Compatibility

1. undulator e+ 源と 300 Hz conventional e+ 源の両方を
現行のトンネルに納める事が出来る。
2. さらに詳細な検討が必要。

もう一つ

3. まず 300 Hz conventional e+ 源から始めればコミッショニング
の問題はぐっと簡単になる。e+ 源、DRを含む中央部の完全な
コミッショニングを e- linac の完成の**1年半前**に始める事が
出来る。

5. まとめ

まとめ 1

1. **e+** は物質中には無いので作り出さなくてはならない。
(cf. **e-** は物質中から取り出す)
2. ILC では大量の**e+** が必要。
(単位時間あたり第一世代リニアコライダー SLC の60倍)
3. ILC **e+** 源: ベースラインは undulator **e+** 源.
 - (a) **偏極 e+** が生成出来る (**利点**)
 - (b) main linac のビーム(150-250 GeV) を使う
大きな制約 → 多くの困難の原因
 - ・ ILC の全システムが絡み合ったものになる。
 - ・ undulator のアライメントが大変。
 - ・ 「道のり合わせ」が大変。
 - ・ コミッショニングが遅れる。
 - ・ ターゲットがキビシイ。(ターゲットのプロトタイプは未完成。確認無しで GO?)

複雑／大規模／独立性の無いシステム。実験開始の大幅な遅れの可能性。
ただし時間をかければたぶん出来る

まとめ 1

1. e^+ は物質中には無いので作り出さなくてはならない。
(cf. e^- は物質中から取り出す)
2. ILC では大量の e^+ が必要。
(単位時間あたり第一世代リニアコライダー SLC の60倍)
3. ILC e^+ 源: ベースラインは undulator e^+ 源.
 - (a) 偏極 e^+ が生成出来る(利点)
 - (b) main linac のビーム(150-250 GeV) を使う
大きな制約 → 多くの困難の原因
 - ILC の全システムが絡み合ったものになる。
 - undulator のアライメントが大変。
 - 「道のり合わせ」が大変。
 - コミッショニングが遅れる。
 - ターゲットがキビシイ。(ターゲットのプロトタイプは未完成。確認無しで GO?)
アメリカの R/D 予算復活に期待

複雑／大規模／独立性の無いシステム。実験開始の大幅な遅れの可能性。
ただし時間をかければたぶん出来る

No Positrons, No Collisions.

まとめ 2

4. もう一つの方法(1): Compton e^+ 源

- 偏極 e^+ 源、独立したシステム、X 線源として広範な応用
- **まだ R/D が必要**

5. もう一つの方法(2): 300 Hz conventional e^+ 源

- 6 GeV の e^- beam から e^+ を作る、独立したシステム。
独立している。→ undulator e^+ 源の持つ問題が無い
- 63 ミリ秒かけて**ゆっくり e^+ を作る**。→ ターゲットが楽
ターゲット速度: undulator 100 m/s conventional 5 m/s
- **偏極 e^+ ビーム は出来ない(欠点)**。

6. 今後の進め方

以下の方針でコンセンサス形成を測りたい**(まだコンセンサスではない)**

- まず 300 Hz conventional e^+ 源で初めて、将来 Undulator e^+ 源へ
- Undulator e^+ 源と 300 Hz conventional e^+ 源をコンパチブルに。
同じトンネルで入れ替え可能、同じトンネルで両立可能

最後に

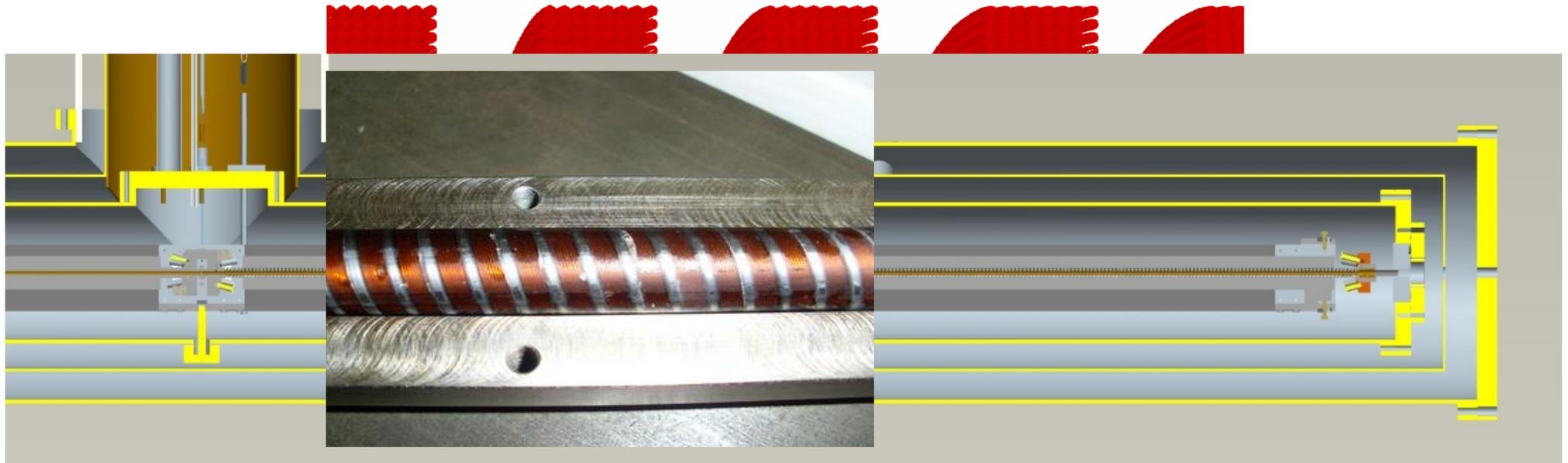
2～3年でコンベンショナルが
確実な解である事を示す。

No Positrons, No Collisions.

Backup Slides

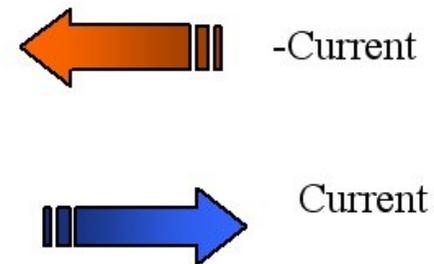
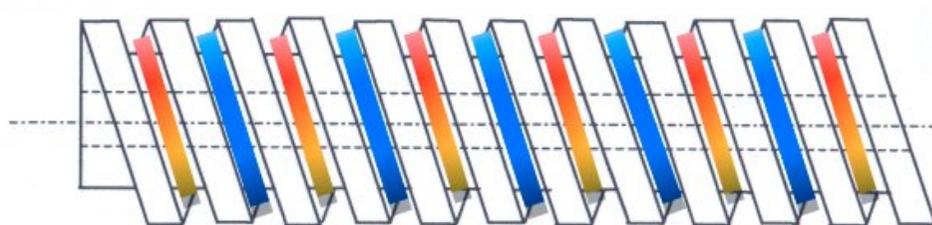
Helical Undulator

Multi-wire winding model in Opera 3d



dimensions and positions of individual wires,
wire current

∇ VECTOR FIELDS

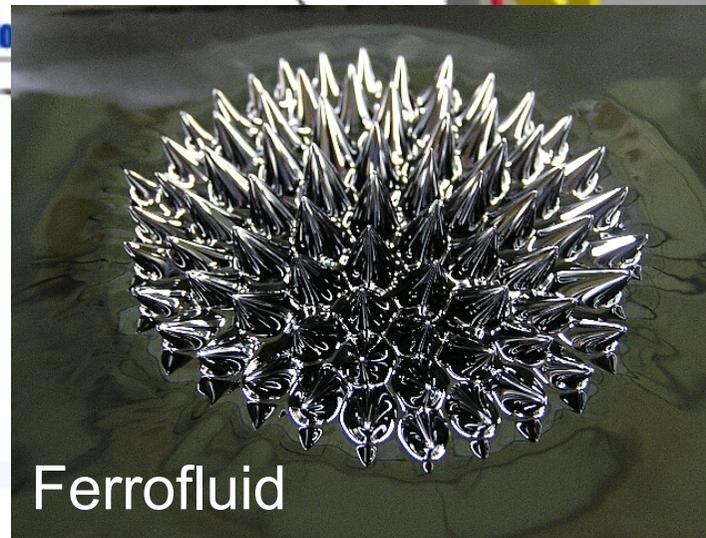


Positron Generation

- 15mm Ti-a
- **100m/s target speed. In vacuum.**
- There is no optimization (pulse structure is fixed).
- Technical design of the water joint and vacuum seal.



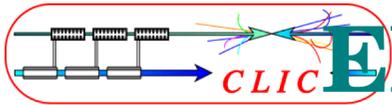
Water Uni



Lessons Learned

- Ferrofluidic seals are not boring, each one has its own individual personality
 - We would prefer them to be anonymously interchangeable and predictable
- They all have outgassing spikes
 - A differential pumping region just after the seal would be a useful modification
- We are pushing them to speeds at which there is significant heat dissipation
 - Off-the-shelf models do not seem to be well designed for this.
 - Improved cooling design is a must for any future system

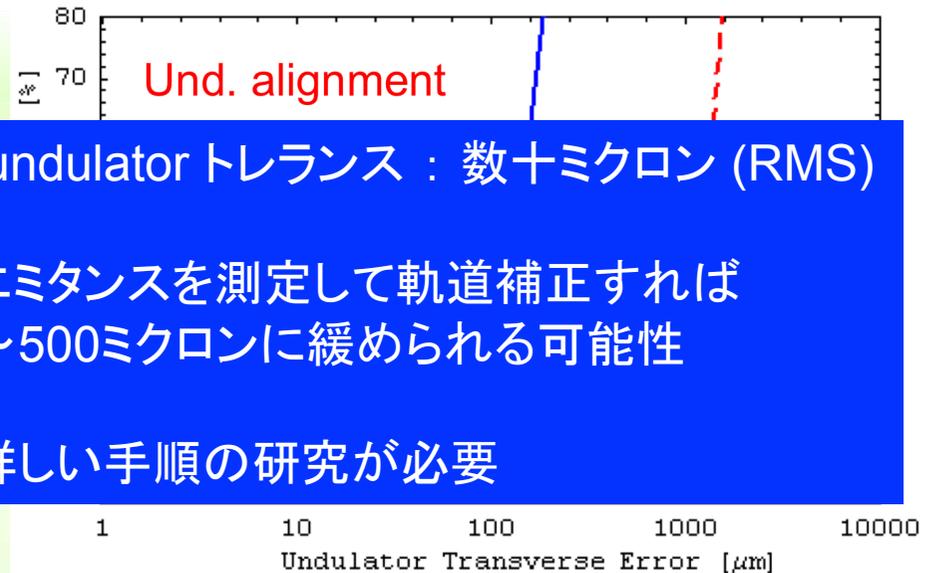




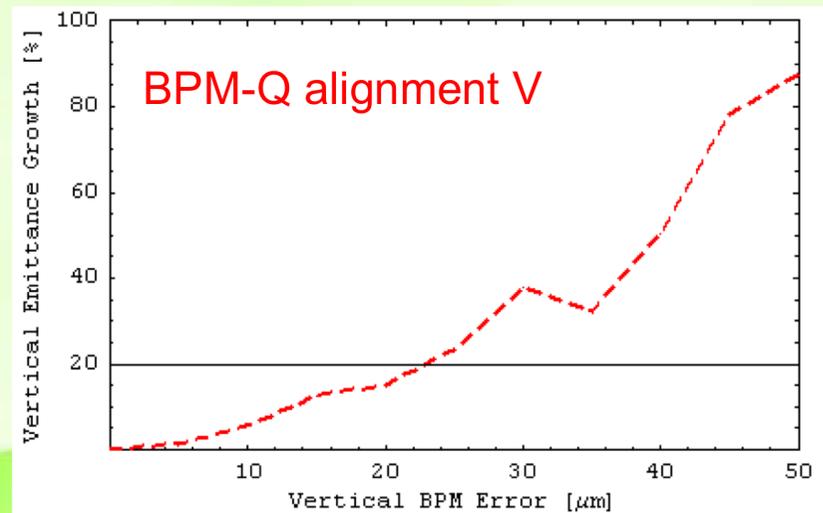
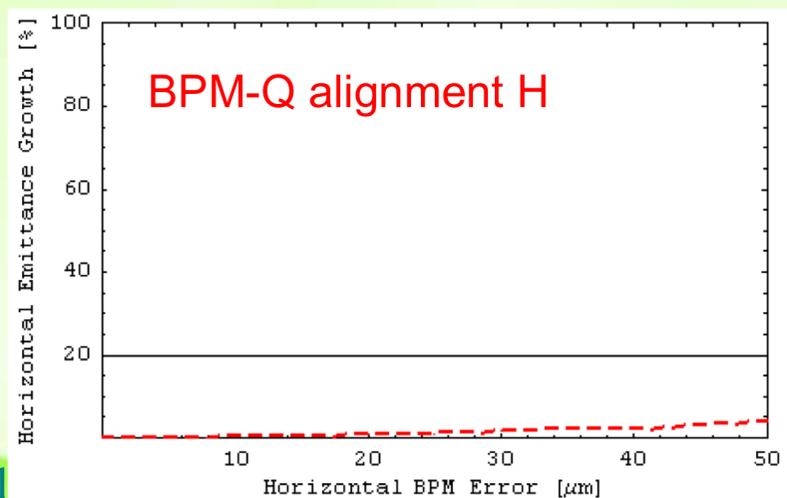
Electron beam degradation



- The tolerance on the vertical and horizontal alignment of the undulator ~100microns for 6eV kicks.
- The tolerance on the Quad-BPM alignment ~20 μ m.

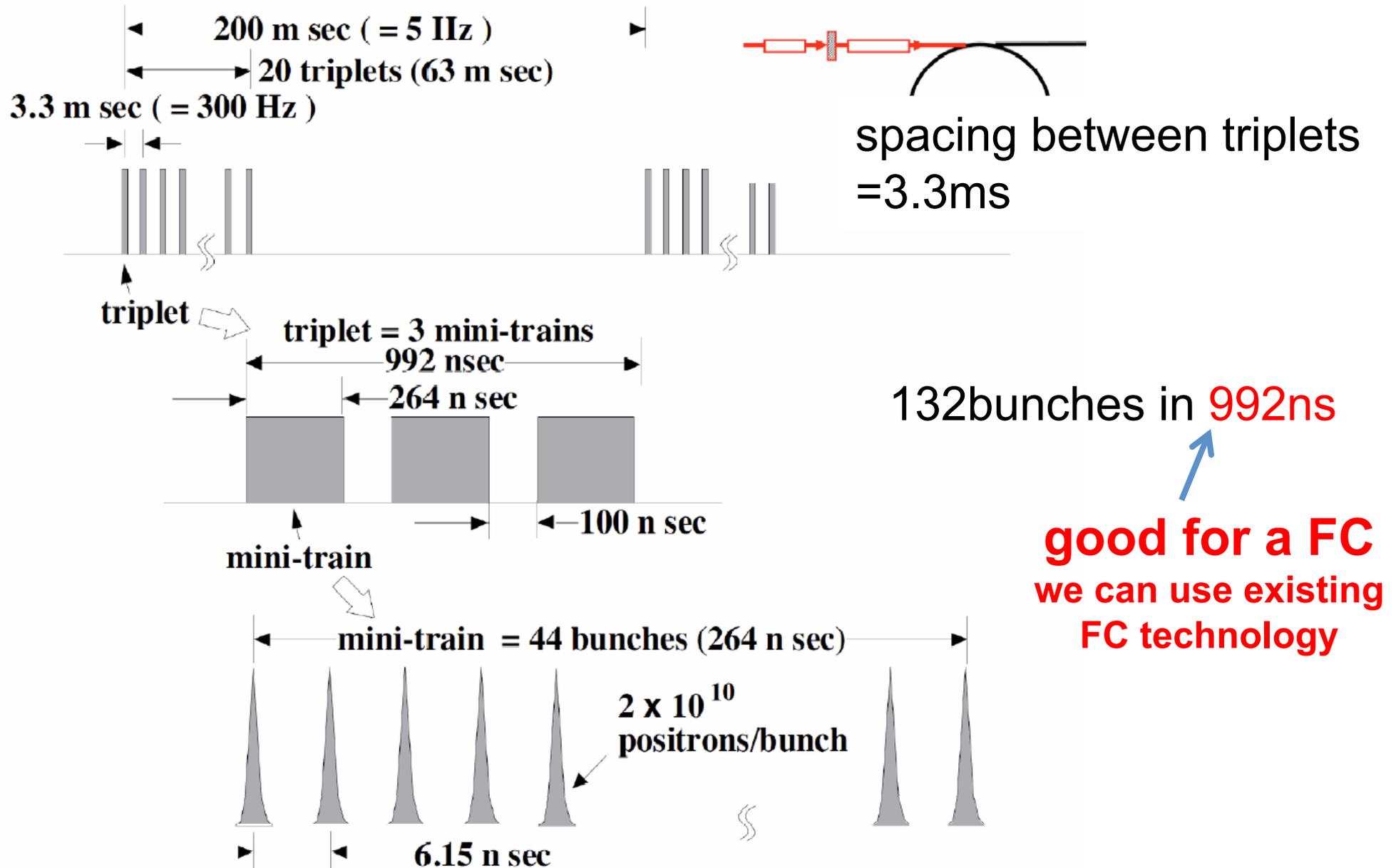


D.Scott, ILC e+ meeting



2010/1

In the case of 300Hz scheme



Assumptions

drive electrons

2×10^{10} /bunch



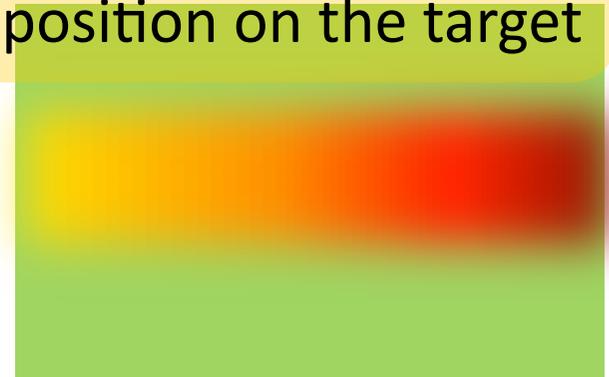
a triplet: 132 bunches 992ns



3.3ms

a train: 20 triplet
= 2640 bunches 63ms

132 bunches
make a shock wave
heat same position on the target



each triplet hits
different position on the target



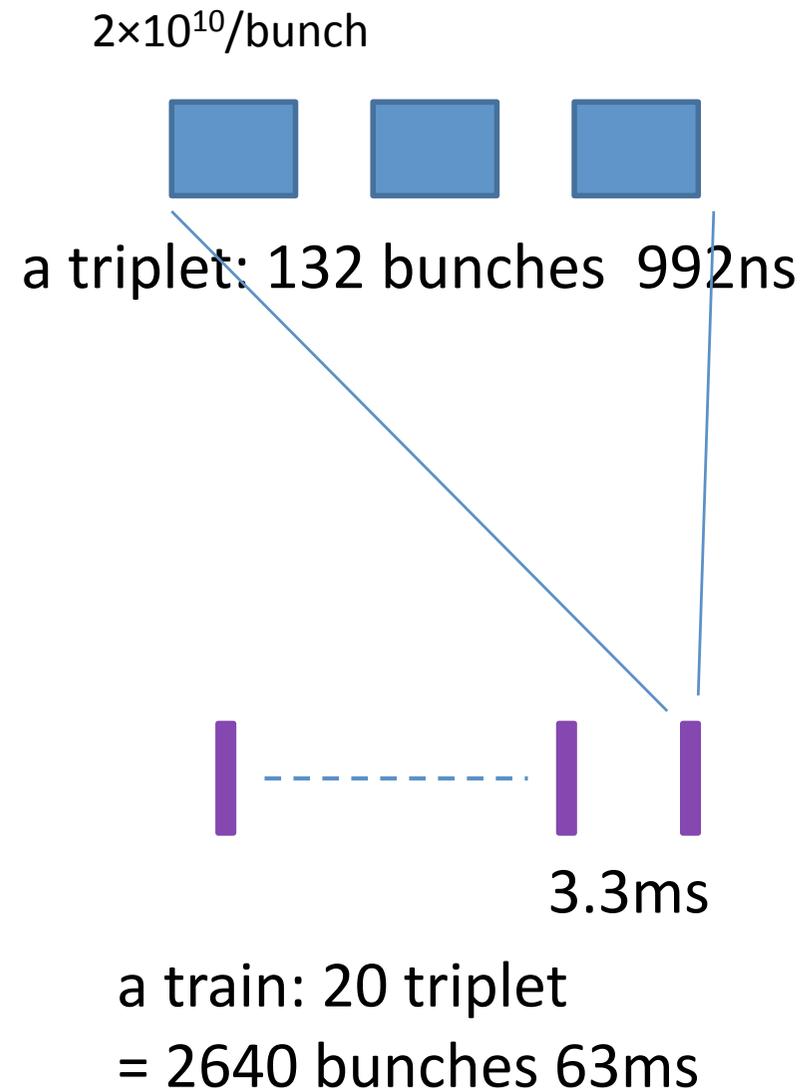
**pendulum or slow
rotation target**

Flux Concentrator

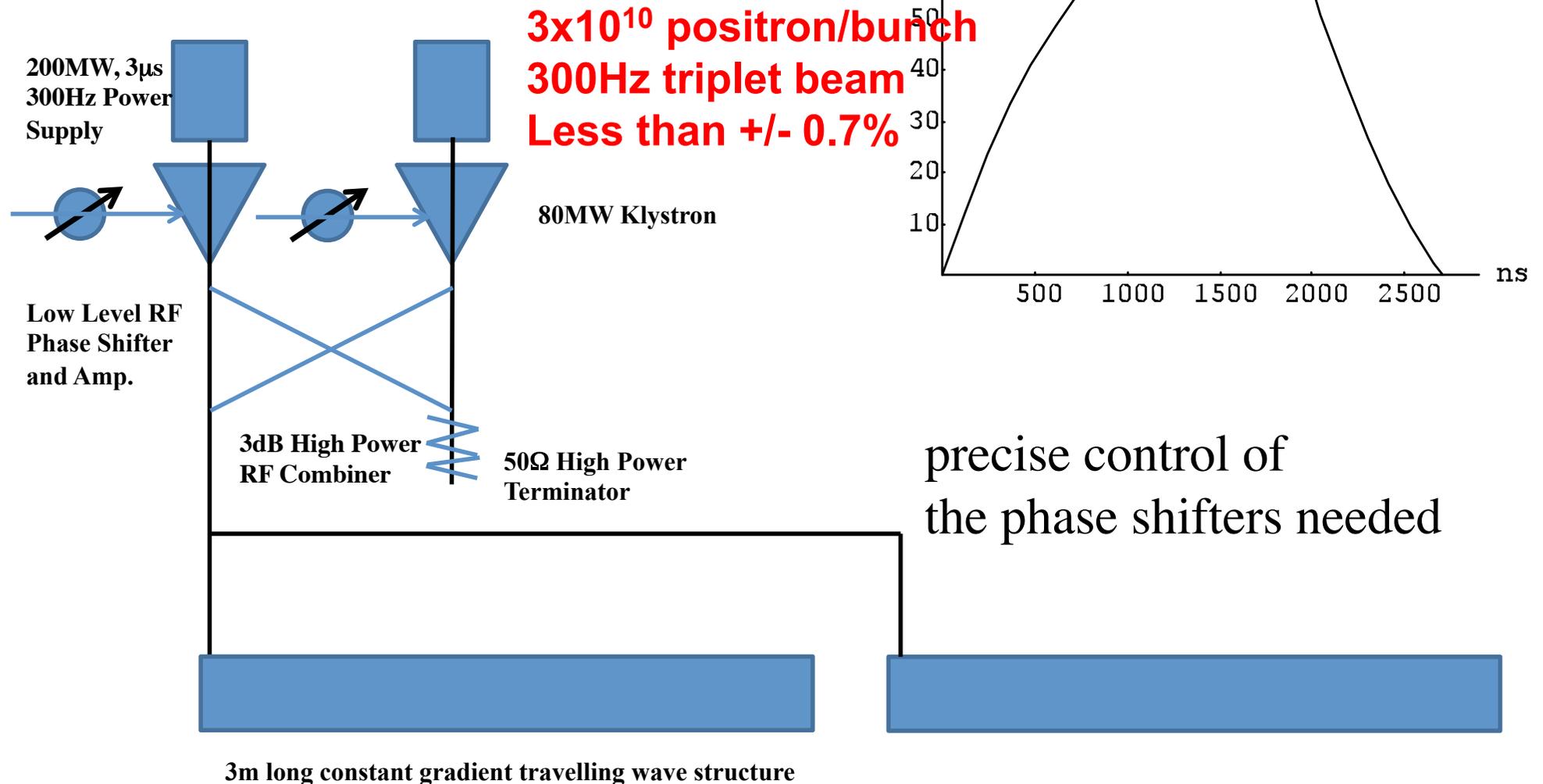
- Almost existing technology
 - pulse length $\sim 1\mu\text{sec}$ (cf. $\sim 1\text{msec}$ in undulator scheme)
- Beam aperture should be a bit larger
 - $\sim 7\text{mm} \rightarrow \sim 12\text{mm}$
- Being developed for SuperKEKB
 - It has 14mm aperture

Linacs

- Driver linac ($\sim 6\text{GeV}$)
 - high current
 - high rep rate (300Hz)
- Booster linac ($\sim 5\text{GeV}$)
 - high rep rate
 - accurate loading compensation (due to uneven bunch structure)



Loading Compensation Scheme

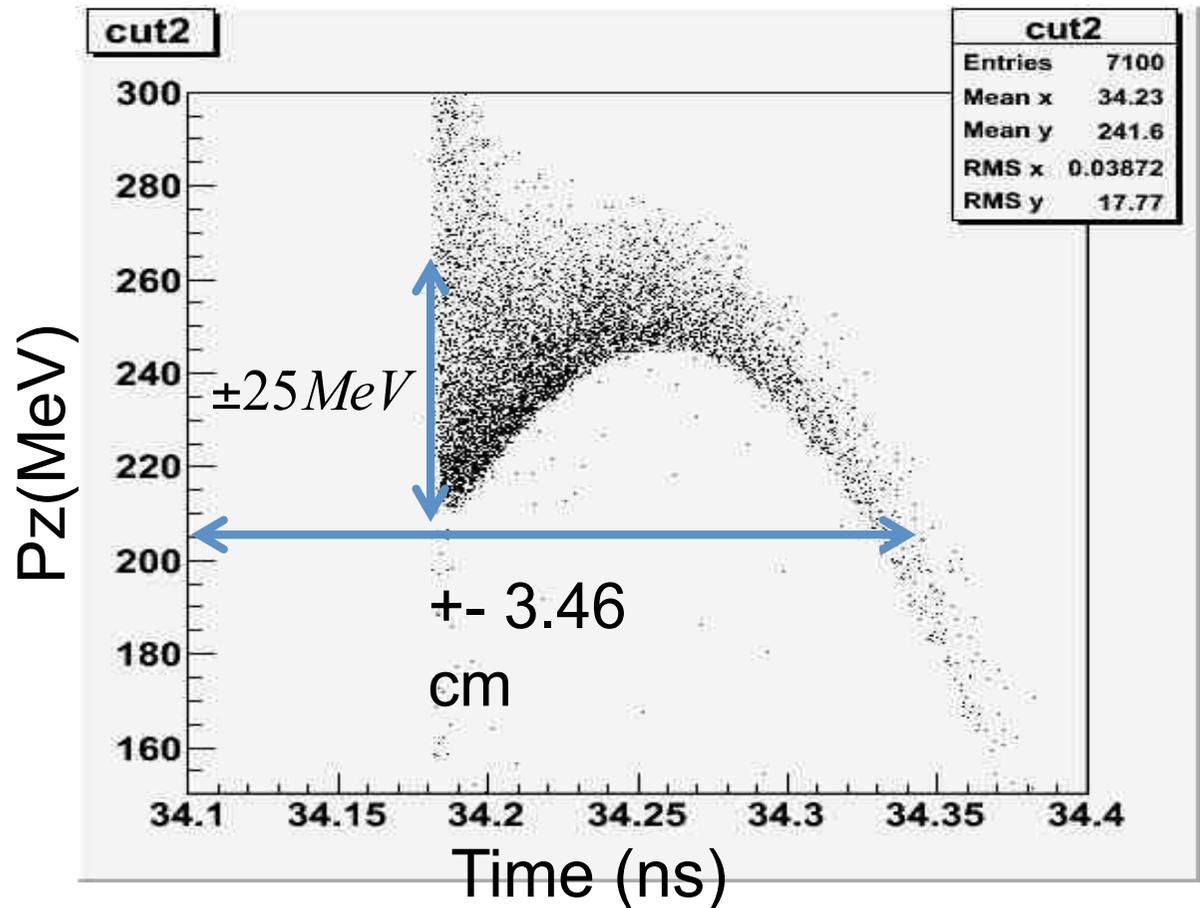


Test at ATF linac being planned

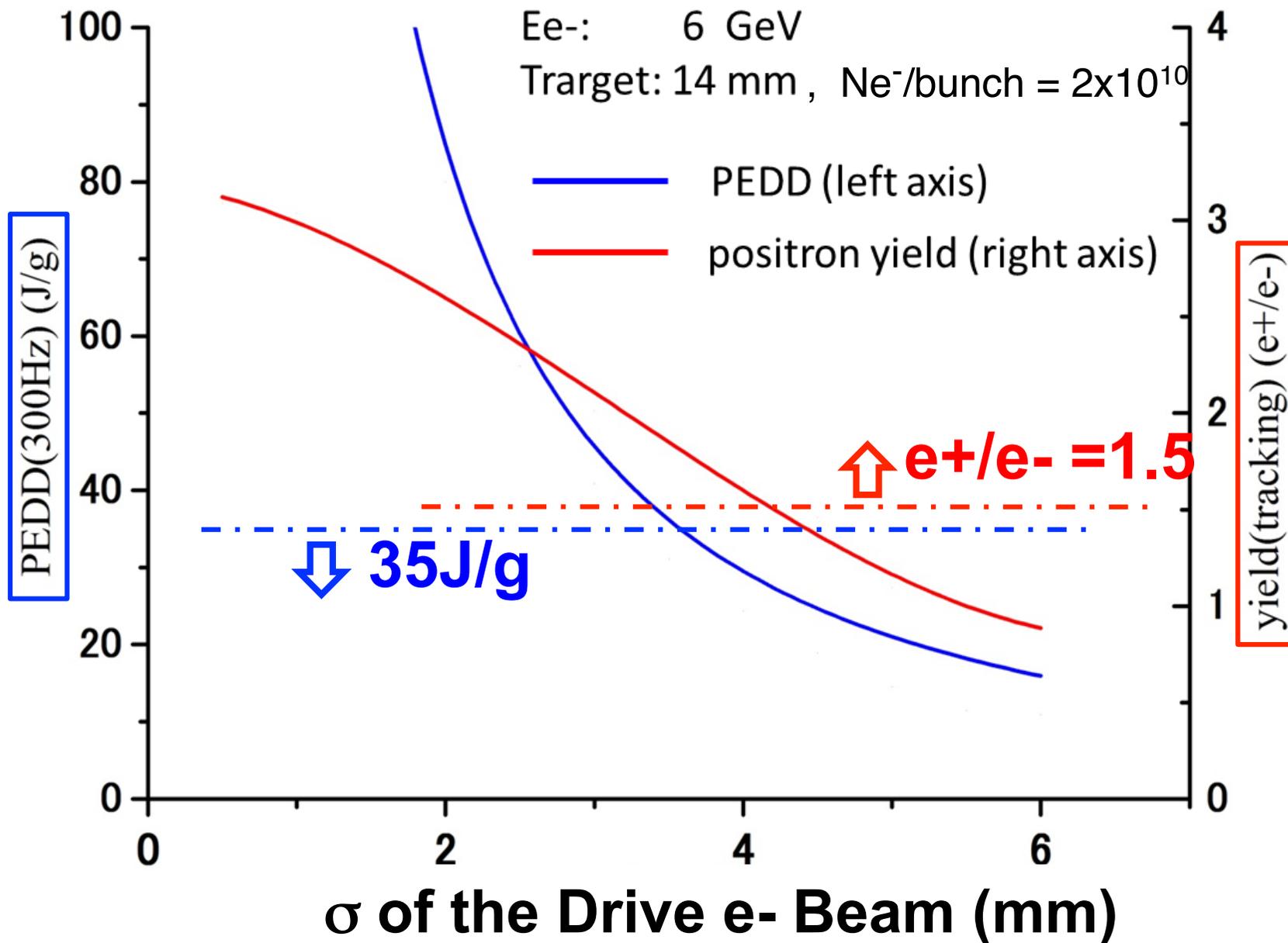
Overall Simulation

- DR aperture
 - $\Delta E < \pm 37.5 \text{ MeV}$
 - $\Delta z < \pm 34 \text{ mm}$
 - $A_x + A_y < 70 \mu\text{m}$
- Must include
 - target simulation
 - loading compensation
- Is S-band linac acceptable?

Longitudinal Phase Space



Dependence on Drive beam size



Conventional e+ Source for ILC

Normal Conducting Drive and Booster Linacs in 300 Hz operation

e+ creation

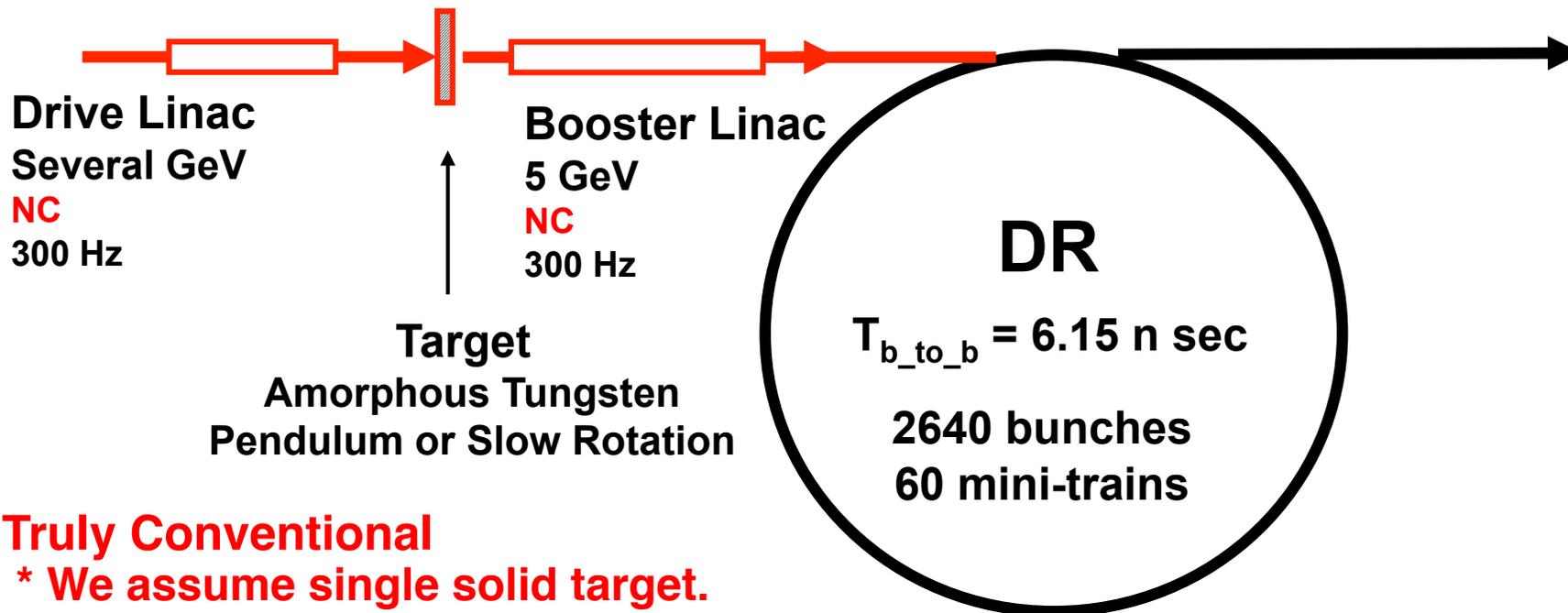
20 triplets, rep. = **300 Hz**

- triplet = 3 mini-trains with gaps
- 44 bunches/mini-train, $T_{b_to_b} = 6.15$ n sec

go to main linac

2640 bunches/train, rep. = 5 Hz

- $T_{b_to_b} = 369$ n sec



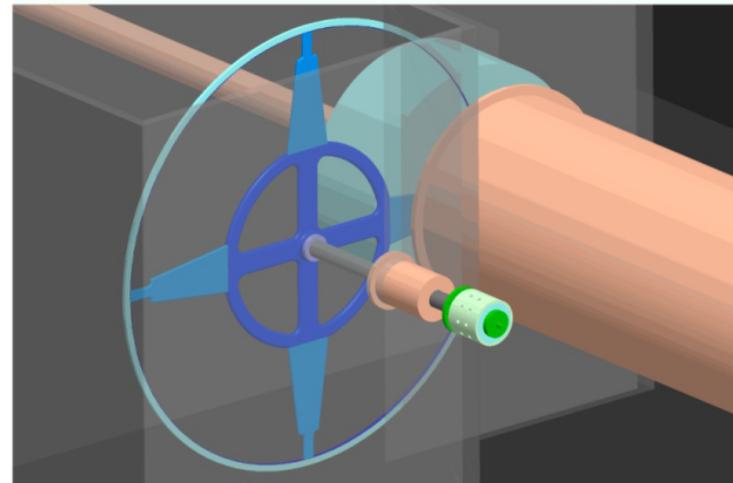
Truly Conventional

- * We assume single solid target.
- * NO Liquid Target or NO Hybrid Target are assumed

Time remaining for damping = 137 m sec

標的

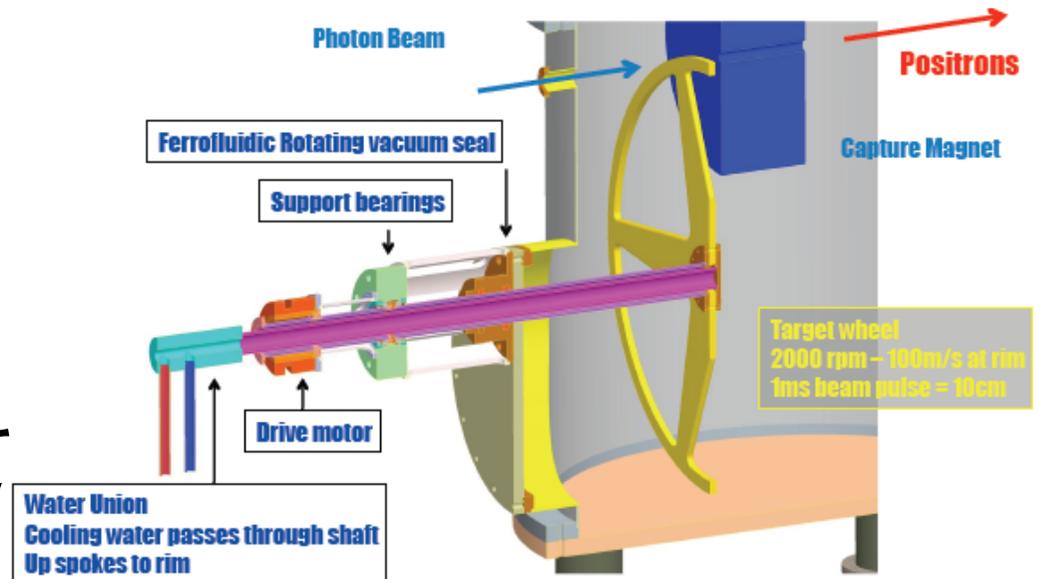
- チタン合金の車輪（直径1m）を、2000rpm（縁辺速度100m/s）で回す
- これは1msの間の熱の集積を防ぐため
- 円盤でなくスポーク形状になっているのは、磁場中の回転で発生する eddy currentを減らすため



Cockcroft Insituteでeddy current試験中の回転標的。
実際の標的は真空中で回転させる。

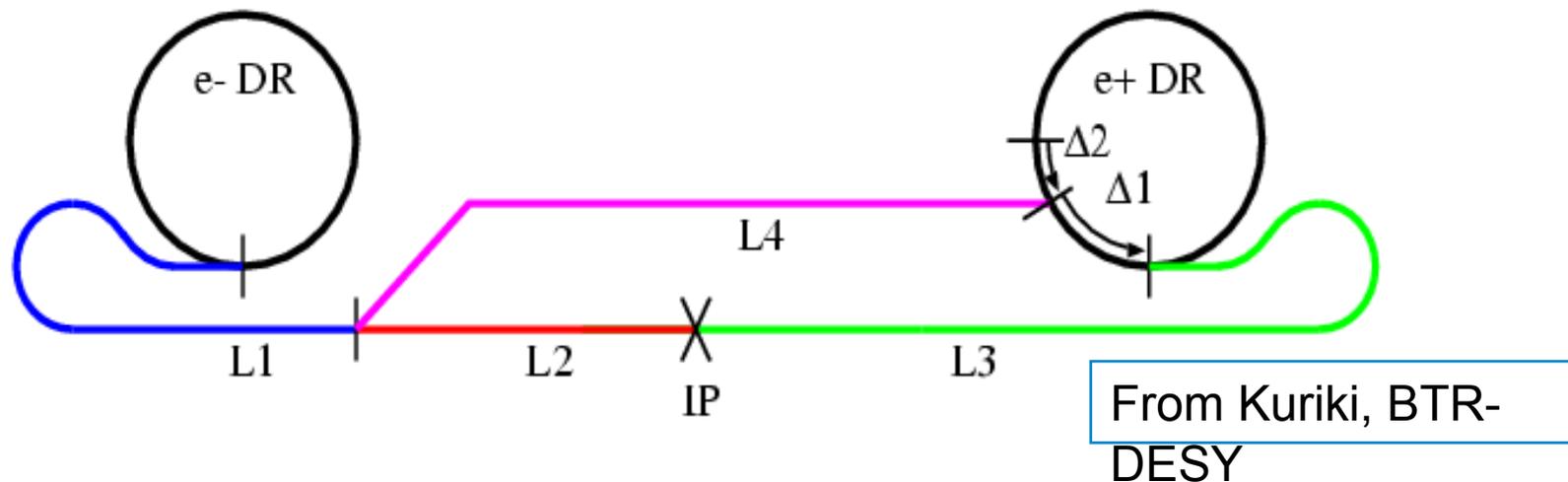
標的 (2)

- 真空中で100m/sで動く標的が必要
- LLNLで2社からのFerromagnet sealをつかって試験中
- 十分な成果は上がっていない
 - Outgassing spikes still being observed
- More works needed
 - market products don't work



Timing 問題

- 電子ビームを使って次の衝突用の陽電子を生成するために、陽電子軌道の全長に面倒な条件が加わる
- $(L_4 + \Delta_1 + L_3) - L_2 = n \times C_{DR}$

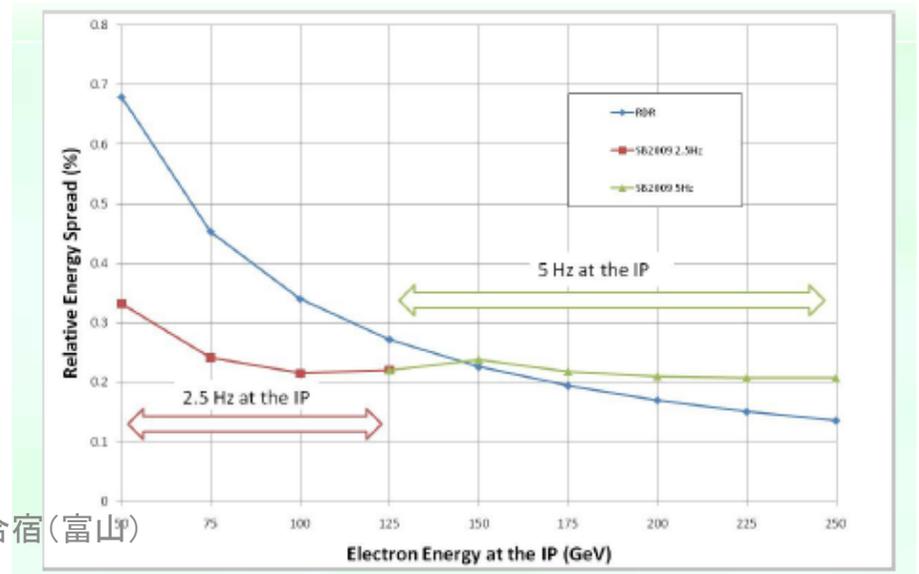
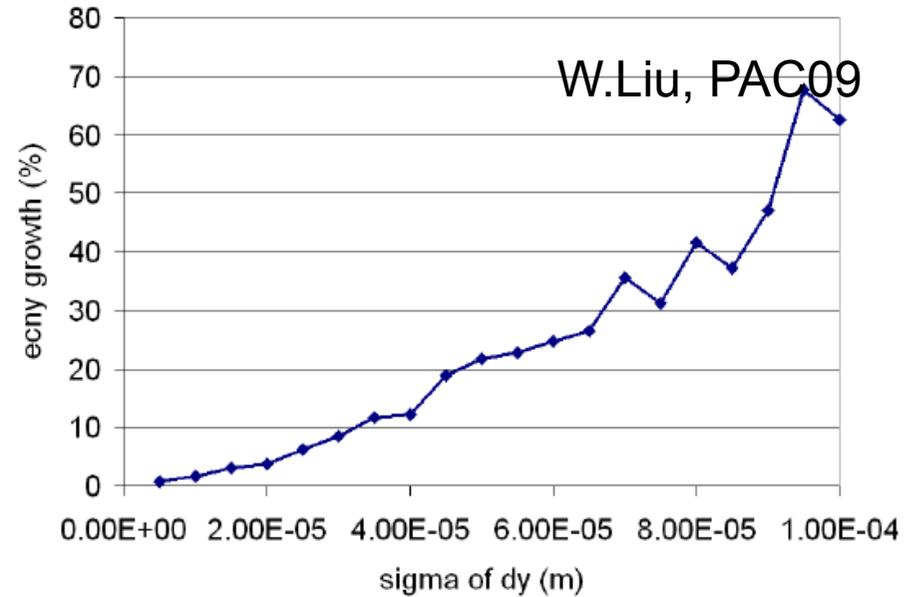


- 概数でいえば、 $IP \leftrightarrow \text{図の右端} = n \times (C_{DR}/2)$
- リナック長が閾を越えると、リナック長を $C_{DR}/2 = 1.6\text{km}$ 延ばさなければならなくなる。
- 微調整は、DRの周長制御で可能（現在、 n は10程度）

Effects on the electron beam

| Drive beam energy | Energy lost per 100m | Energy lost for 1.5 yield |
|-------------------|----------------------|---------------------------|
| 50GeV | ~225MeV | N/A |
| 100GeV | ~900MeV | ~9.9GeV |
| 150GeV | ~2GeV | ~4.6GeV |
| 200GeV | ~3.6GeV | ~3.7GeV |
| 250GeV | ~5.6GeV | ~3.96GeV |

| Drive beam energy | Yield | Polarization |
|-------------------|--------|--------------|
| 50GeV | 0.0041 | 0.403 |
| 100GeV | 0.3138 | 0.373 |
| 150GeV | 1.572 | 0.314 |
| 200GeV | 3.298 | 0.265 |
| 250GeV | 4.898 | 0.221 |



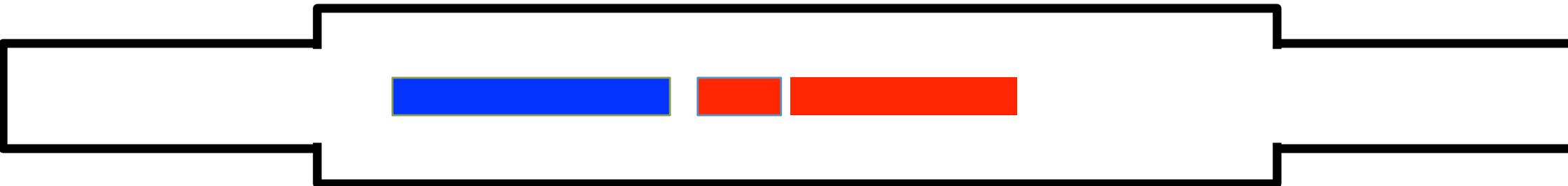
Discussion@LCWS2013(Tokyo)

If we start with "Conventional", we need to keep smooth path to "Undulator".
footprint compatibility (no change of the tunnel)

- "300Hz conventional source" should fit the space for "undulator source"

1st step

300 Hz conventional e+ source



Discussion@LCWS2013(Tokyo)

If we start with "Conventional", we need to keep smooth path to "Undulator".

footprint compatibility (no change of the tunnel)

- "300Hz conventional source" should fit the space for "undulator source"

Remove the Conventional Source



Discussion@LCWS2013(Tokyo)

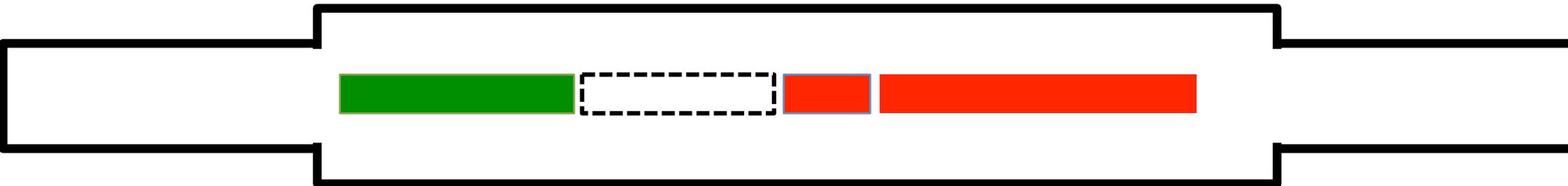
If we start with "Conventional", we need to keep smooth path to "Undulator".

footprint compatibility (no change of the tunnel)

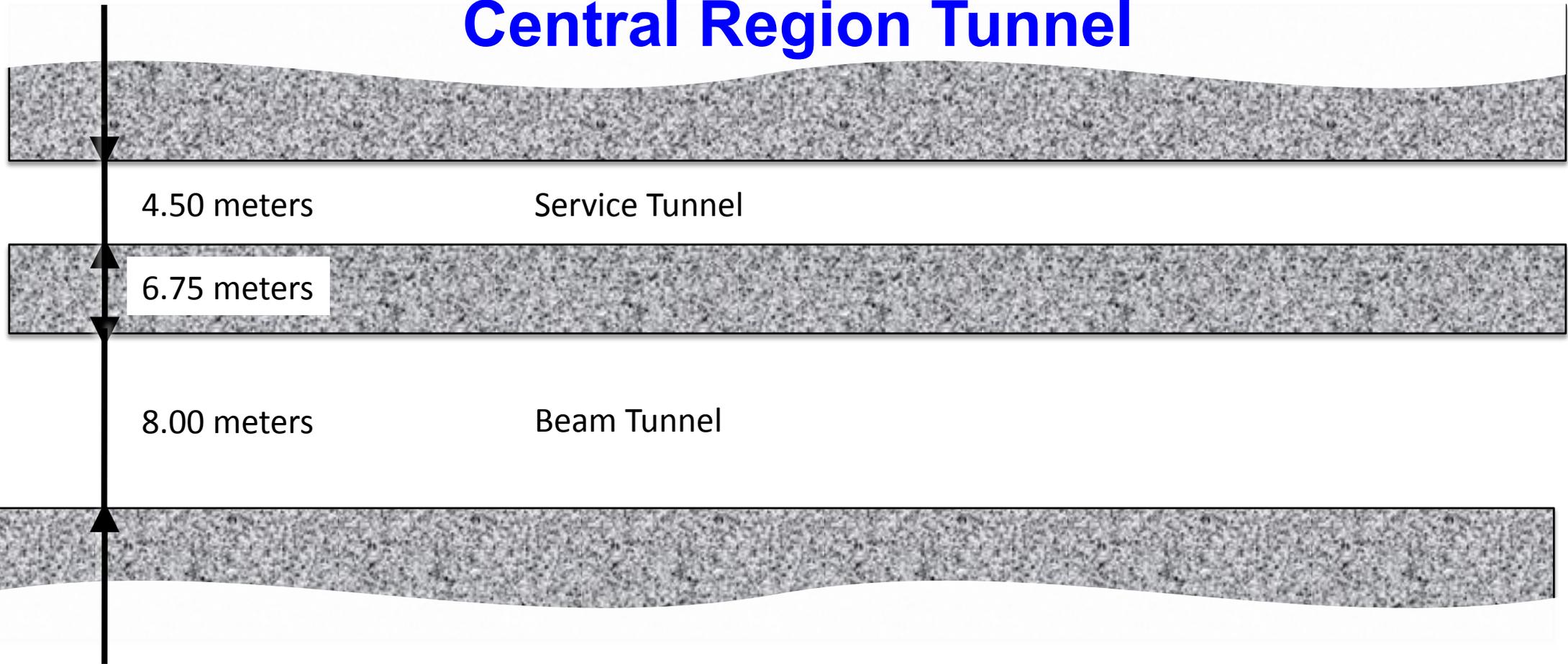
- "300Hz conventional source" should fit the space for "undulator source"

2nd step

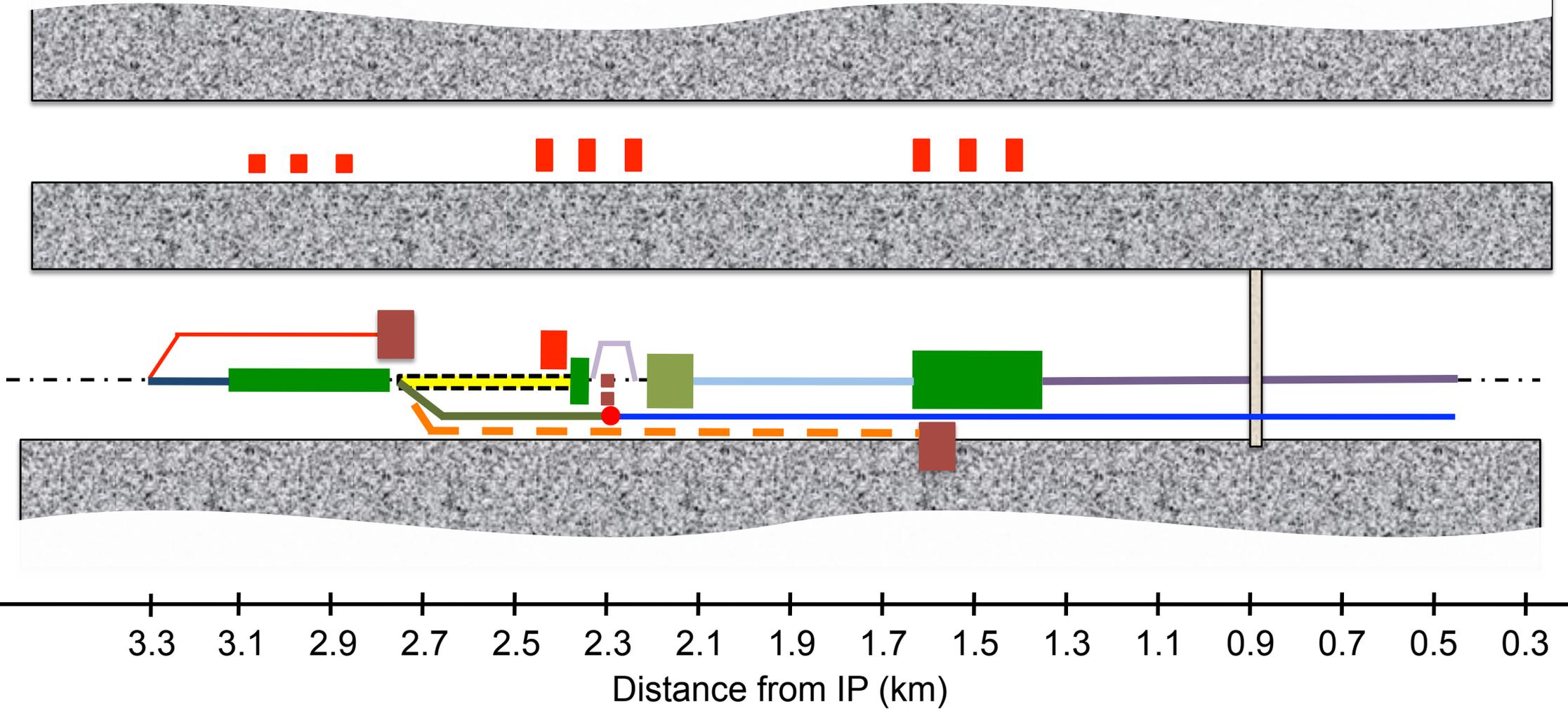
undulator e+ source



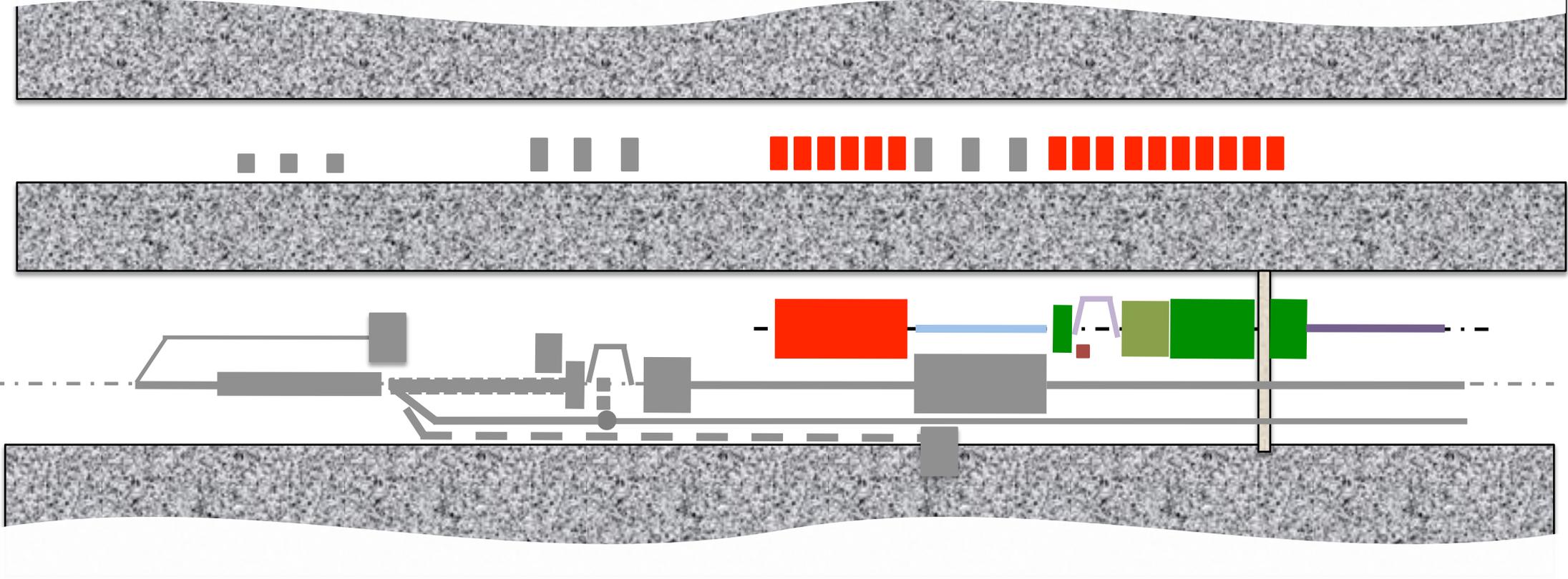
Central Region Tunnel



Undulator Source in Central Region Tunnel

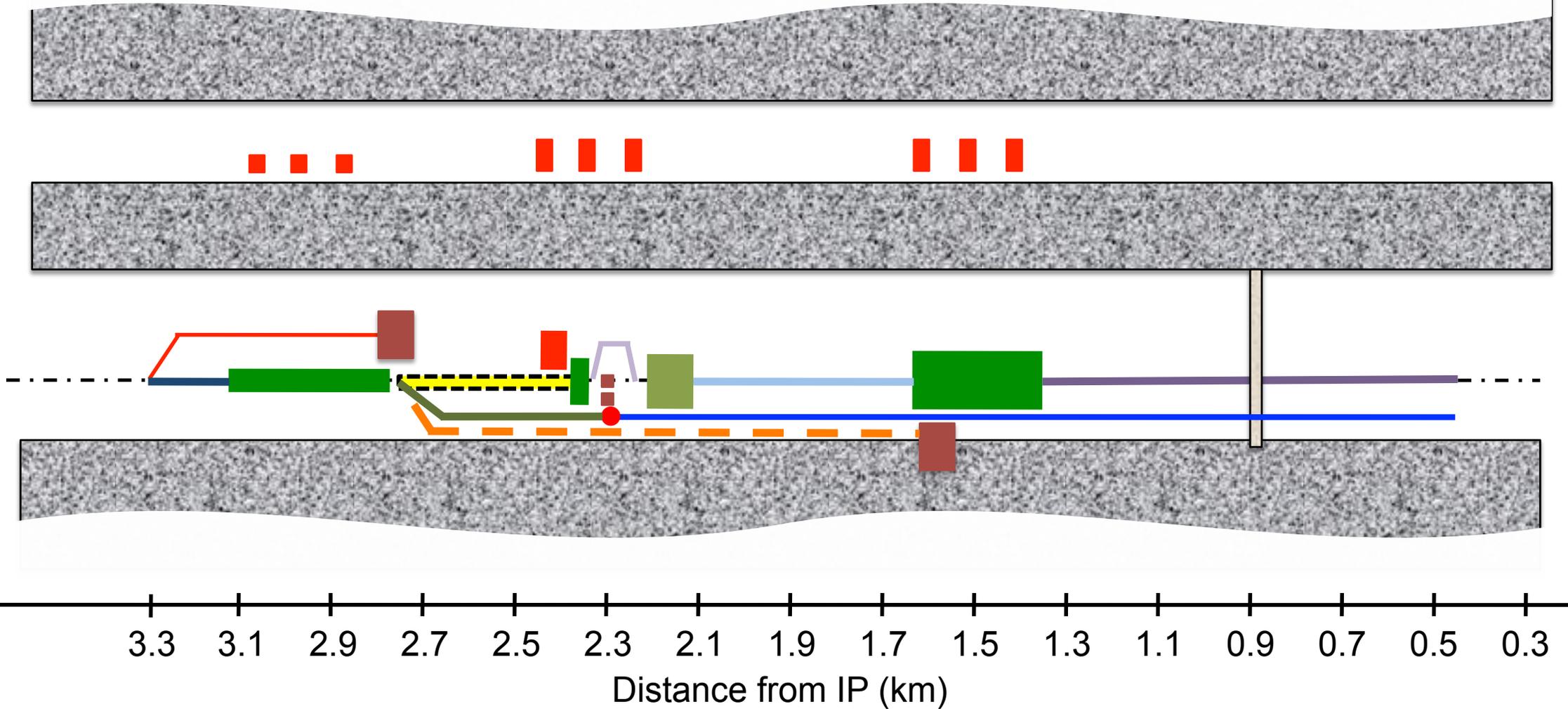


Conventional Source in Central Region Tunnel



3.3 3.1 2.9 2.7 2.5 2.3 2.1 1.9 1.7 1.5 1.3 1.1 0.9 0.7 0.5 0.3
Distance from IP (km)

Undulator Source in Central Region Tunnel



The Undulator Source is Long.

Parameter Plots for 300 Hz scheme

e- directly on to Tungsten

$\sigma=4.0\text{mm}$

$N_{e^-}(\text{drive}) = 2 \times 10^{10} / \text{bunch}$

colored band



accepted e+/e-

PEDD J/g



dT max by a triplet

