

ビームダンプ



高エネルギー加速器研究機構
加速器研究施設 森川 祐
(yu.morikawa@kek.jp)

高エネルギー加速器セミナー OHO'21
(2021.9.7)

KEK加速器の技師です。
流れ弾に当たり講師になりました。
仕事: ILC dump, STF dump, cERL 標的,
教育加速器 dump, その他手伝い多数

Contents

1. ビームダンプの設計指針

- ・ビームダンプとは??
- ・熱負荷 - 電磁シャワーの特性
- ・耐熱設計について

2. ILCメインビームダンプの設計

- ・ILCのビームダンプ
- ・メインビームダンプの耐熱設計
- ・メインビームダンプの付帯施設

3. ILCの多角的利用@ビームダンプエリア

- ・メインビームダンプでの新粒子探査
- ・アンジュレーター光子による医療用RI製造



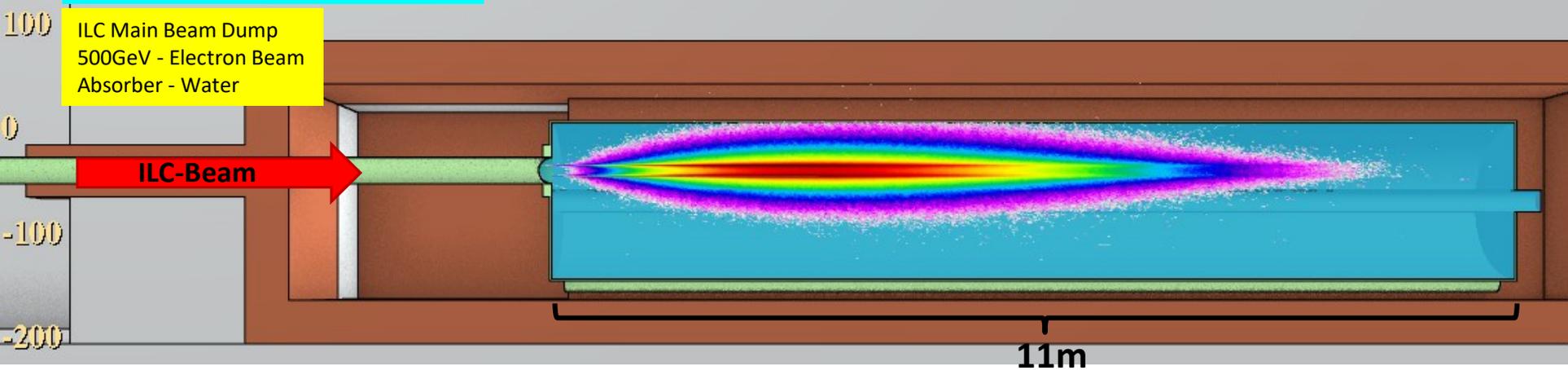
ビームダンプの設計指針

- ・ビームダンプとは
- ・熱負荷 – 電磁シャワーの特性
- ・耐熱設計について

ビームダンプとは

ビームの終点 - ビームを吸収し止める装置

電磁シャワー粒子のFLUX

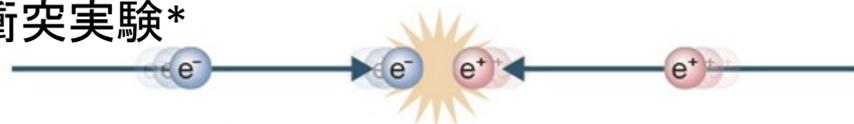


【いつ使うか？】

- ・加速器の異常検知時にビームを止める
- ・実験系で消費しきれないビームを止める
- ・リング型加速器での電流量調整時、などなど...

どんな加速器でも1基は必要

ILC衝突実験*



ILC : レプトン (電子と陽電子) を線形に加速して衝突させる

ILCでは衝突後ビームを
ビームダンプで止める

*イラストは東京大学素粒子物理国際研究センターより
(<https://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/research/ilc.html>)

世界の大強度ビームダンプ

ビーム強度 (W)
エネルギー (eV) × 電荷 (A)

- ・ビームダンプで概ね熱に変わる
温度上昇 & 熱応力に耐える設計
- ・高エネルギー光子・中性子の生成
放射線対応 (遮蔽体, 残留放射線...)
- ・材料の放射線損傷

世界の大強度ビームダンプ

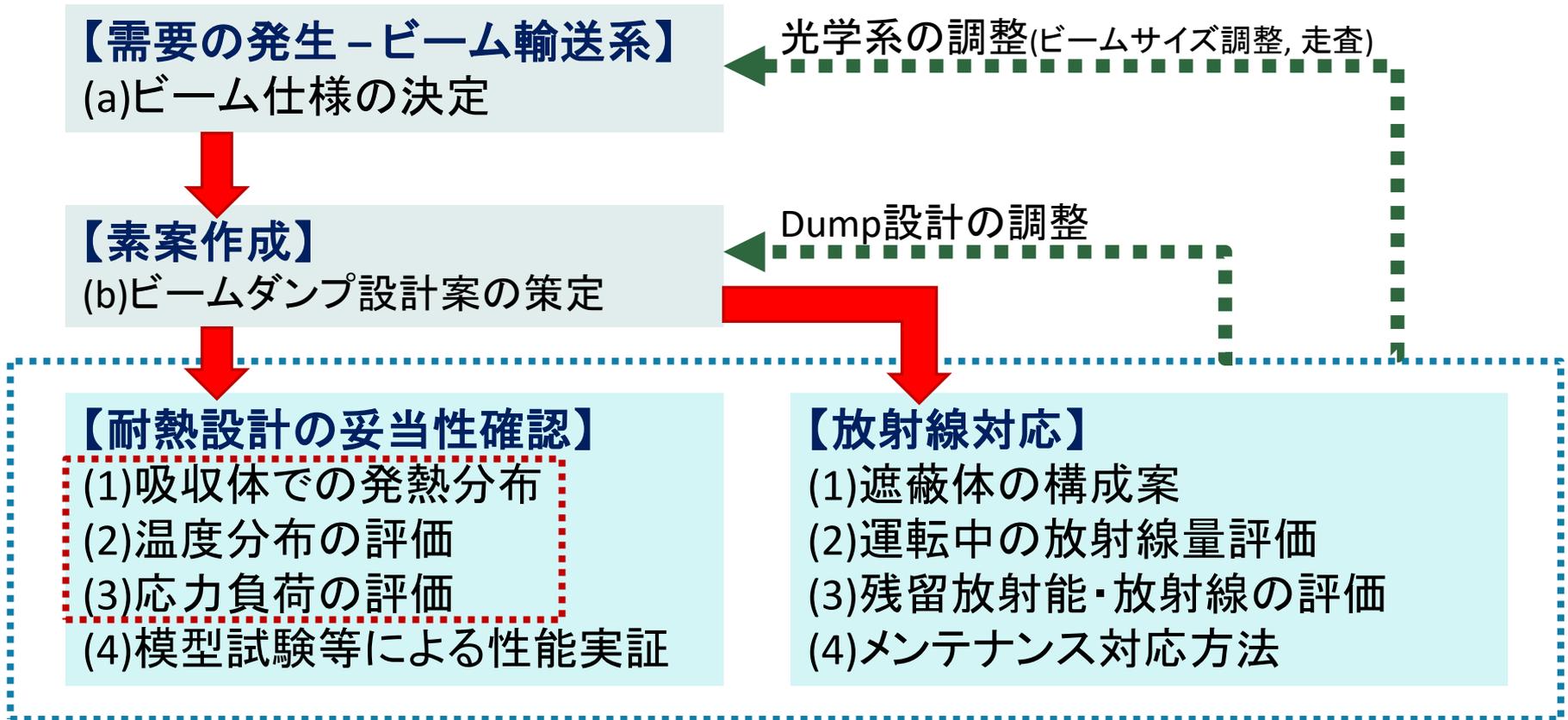
*建設中の物を含む

MW級ビームダンプが登場し始めている！！

SLAC	Water Dump (at End-Station)	e^- & e^+	2.2MW	ex. 20GeV × 110μA
Jefferson Lab	Beam Dump (Hall A & B)	e^-	1MW	ex. 5GeV × 200μA
E-XFEL	Main Beam Dump	e^-	300kW	ex. 25GeV × 12μA
KEK	SKEKB Beam Dump	e^- & e^+	182kJ	7GeV × 26μC
CERN	HL-LHC Beam Dump	Proton	680MJ	7TeV × 97μC
J-PARC	Neutron Target	Proton	1MW	3GeV × 333μA
J-PARC	Neutrino-facility Beam Dump	Proton	750kW	30GeV × 25μA
ESS	Neutron Target	Proton	5MW	2GeV × 2.5mA
IFMIF LIPAc	Beam Dump (at Linac End)	Deuteron	1.125MW	9MeV × 125mA
FRIB	Beam Dump	Heavy Ion	325kW	ex. 47.6GeV × 6.83μA @U238 - 0.2GeV/u

*Max Beam Powerは設計時に想定した値である。必ずしも運転実績があるわけではない。*リファレンスはテキストに記載

ビームダンプの開発

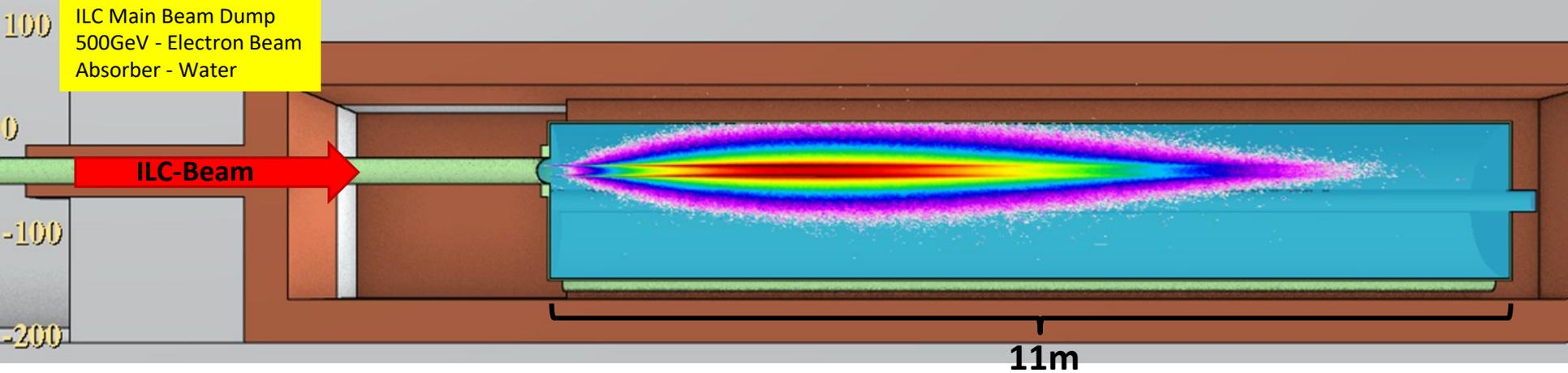


- ・設計段階では各種シミュレーションコードを駆使して妥当性を確認する。
ビーム輸送 (SAD), 放射線や発熱分布 (PHITS, FLUKA, MARS), 温度・応力 (ANSYS, ...)

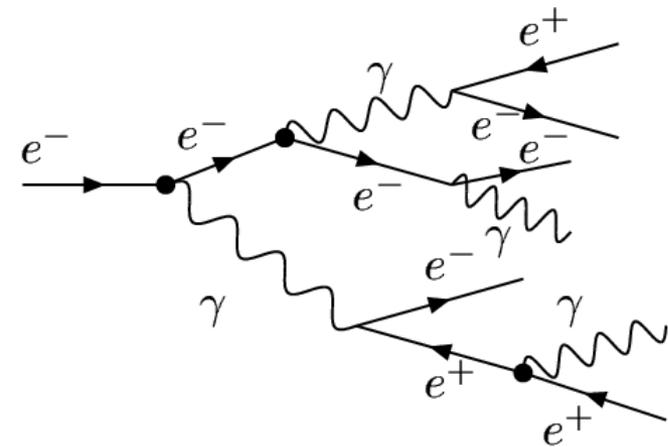
熱負荷の話

発熱分布 - 電磁シャワーの特性

電磁シャワー粒子のFLUX



増殖の様子@電磁シャワー



電磁シャワー：下記プロセスを通して粒子が増殖

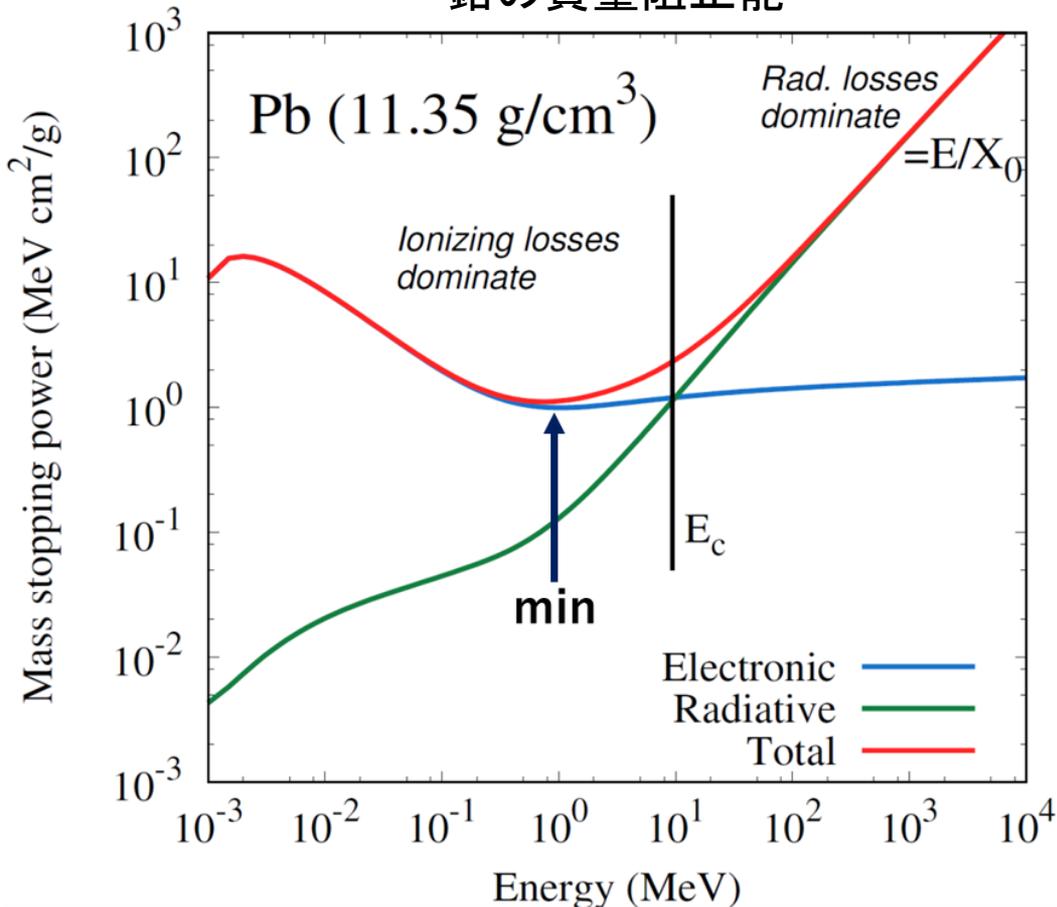
(a) 制動放射による光子生成： $e^- \Rightarrow e^- \& \gamma$

(b) 対生成による電子・陽電子生成： $\gamma \Rightarrow e^- \& e^+$

電子・陽電子のエネルギー損失

制動放射と電離によりエネルギーを損失

鉛の質量阻止能



【制動放射】

- ・数10MeV以上で支配的
- ・放射長 X_0 を指標として、エネルギー損失を評価できる。

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{E}{X_0} \quad X_0 \sim \frac{716.4 A}{Z(Z+1) \ln\left(\frac{287}{\sqrt{Z}}\right) \rho}$$

【原子内電子の電離・励起】

- ・数MeV以下で支配的
- ・数MeVで最低値を取り、数MeV以上でのエネルギー依存性は弱い。
- ・質量電離阻止能の最小値

$$\left\langle -\frac{dE}{dx} \right\rangle_{\min} \sim 2.35 - 0.28 \ln(Z)$$

【臨界エネルギー：E_c】

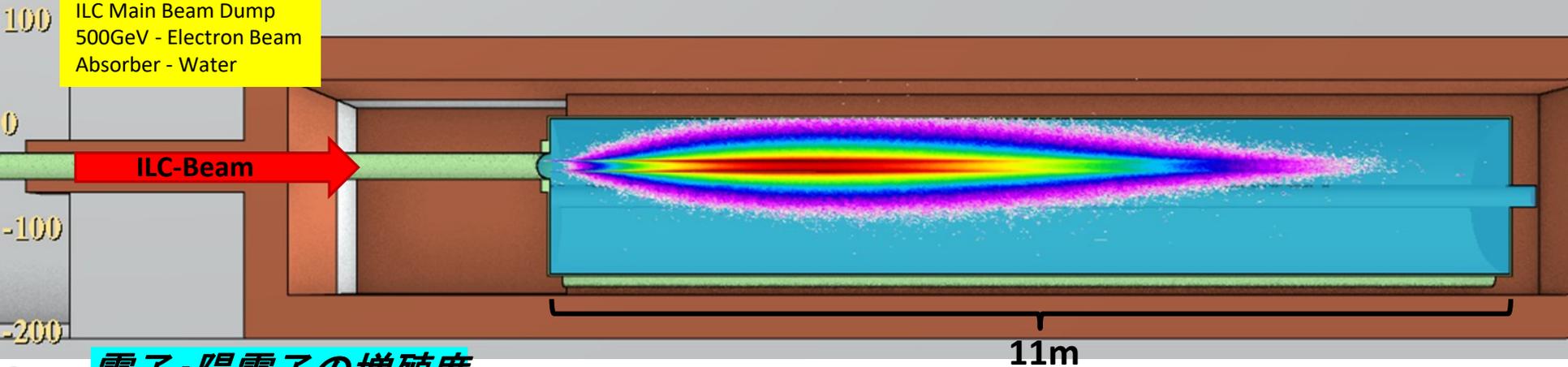
- ・制動放射と電離の損失量が釣り合う

$$\text{Solid and Liquid : } E_c \sim \frac{610}{Z + 1.24}$$

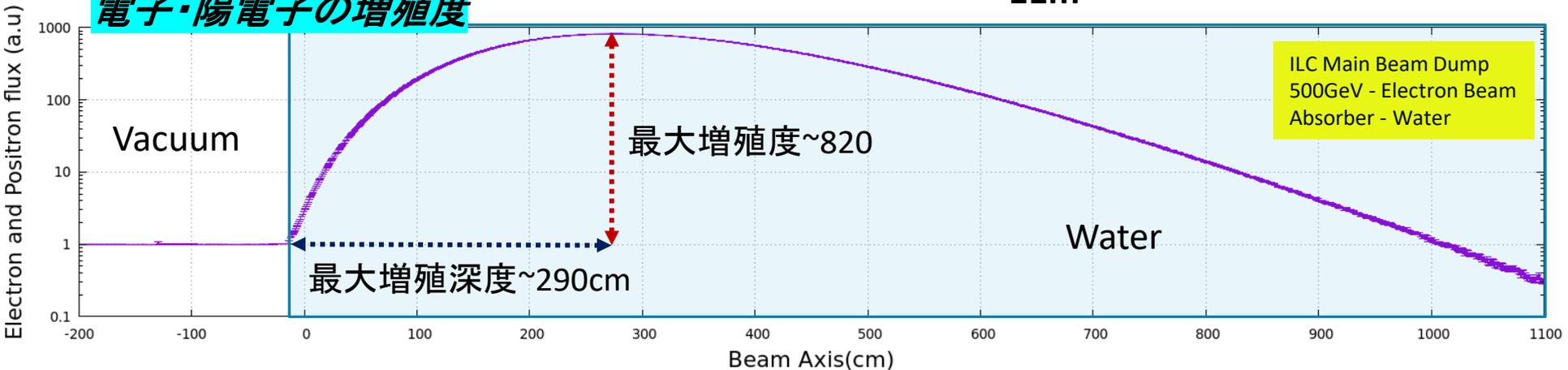
電子・陽電子の増殖

電磁シャワー粒子のFLUX

ILC Main Beam Dump
500GeV - Electron Beam
Absorber - Water



電子・陽電子の増殖度



最大増殖深度 : $t_{max} \sim \ln(y) - 1$

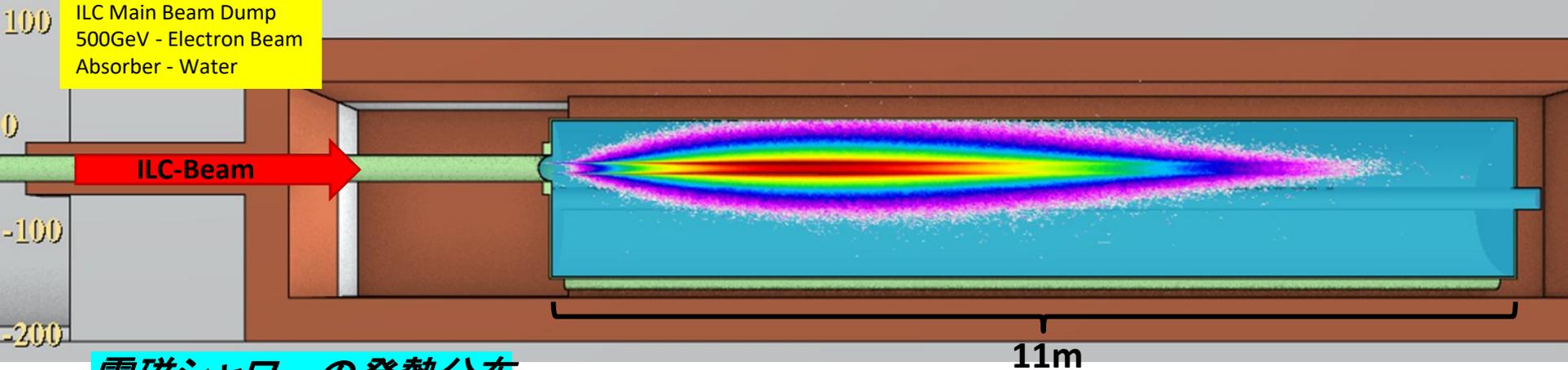
最大増殖度 : $M(t_{max}) \sim \frac{0.31y}{\sqrt{\ln(y) - 0.37}}$

規格化指標 : $t = \frac{x}{X_0}, \quad y = \frac{E}{E_c}$

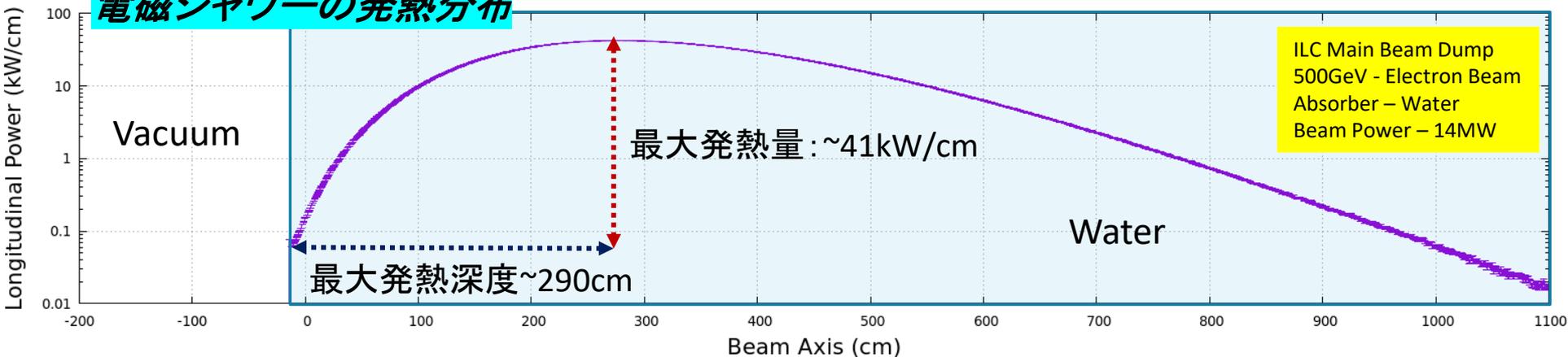
電磁シャワーの発熱分布

電磁シャワー粒子のFLUX

ILC Main Beam Dump
500GeV - Electron Beam
Absorber - Water



電磁シャワーの発熱分布

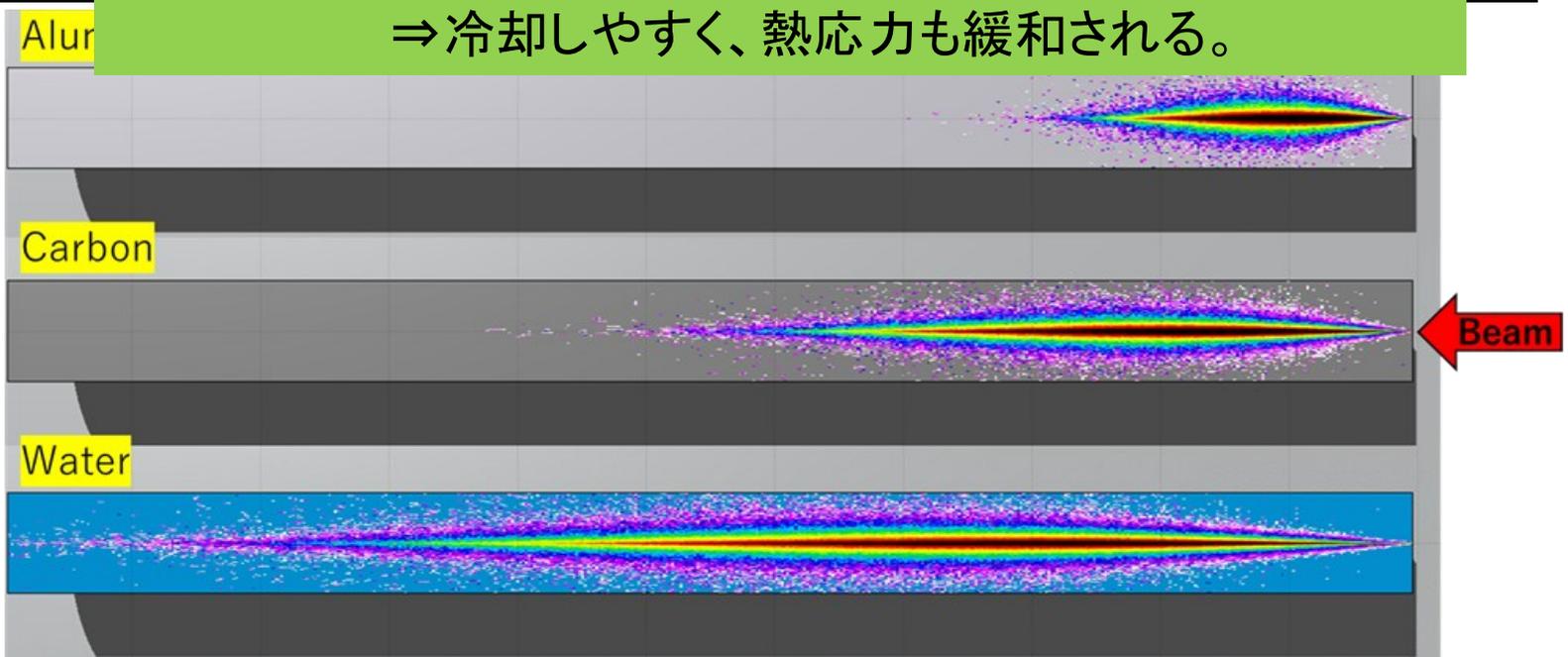


- ・電磁シャワーの発熱分布は電子・陽電子FLUX分布とほぼ一致する。
- ・ILCのような高エネルギービームは電磁シャワーが発展して高い発熱量となる。

ビームダンプに適した材料

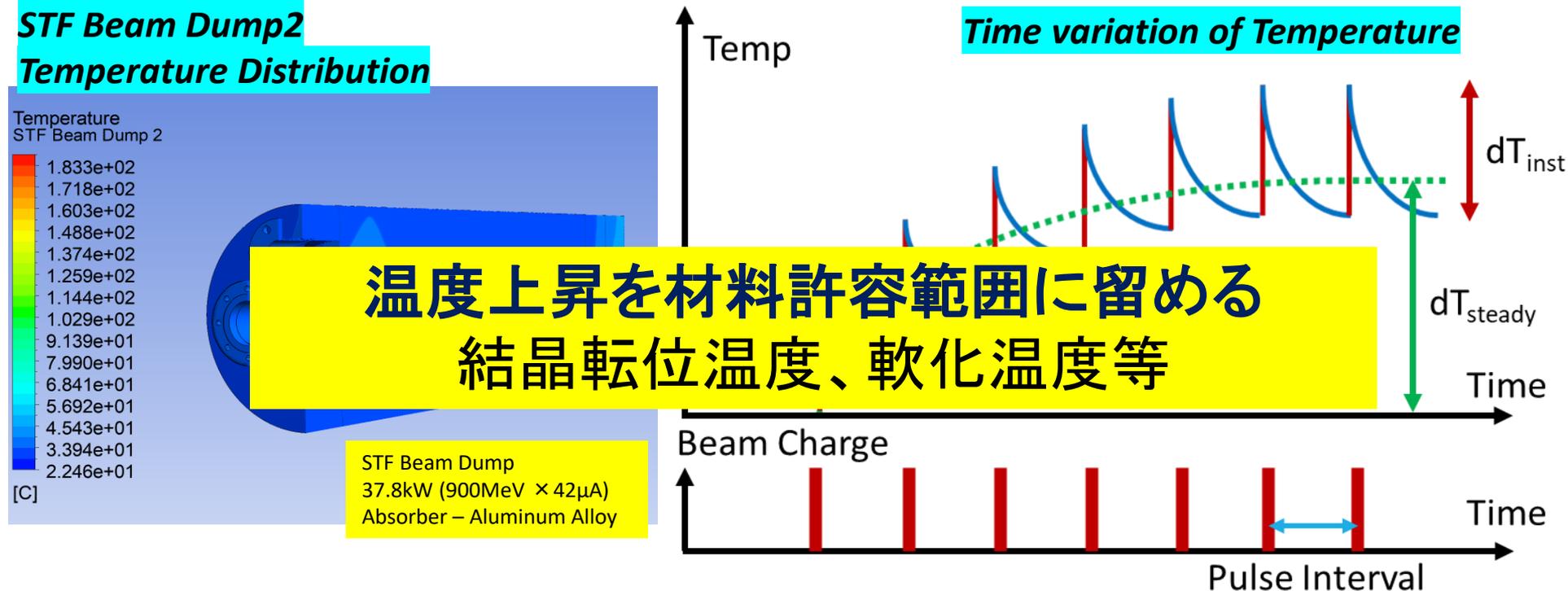
14MWビーム(500GeV×28μA)入射時の電磁シャワー特性

	Water	Carbon	Aluminum
原子番号Z	8(酸素として)	6	13
原子番号A	16(酸素として)	12	27
比重(g/cm ³)	1	1.8	2.7
放射長(cm)	34	24	9
臨界エネルギー(MeV)	66	84	43
最大増殖深度(cm)	276	185	76
最大増殖度	802	638	1206
最小電離阻止能(MeV/cm)	1.8	3.3	4.4
最大発熱量(kW/cm)	40	60	149
ビームダン	<p>材料の原子番号、比重が小さいほど発熱密度は下がる ⇒冷却しやすく、熱応力も緩和される。</p>		
ビームダン			



温度応答の話

温度応答



- dT_{inst} : ビーム入射した瞬間の温度上昇
Pulse入射時間は短く、熱拡散が効かないことが多い。
- dT_{steady} : ビーム熱負荷を(CW的に)時間平均した際の温度上昇。

$$dT \leq dT_{steady} + dT_{inst}$$

温度上昇の評価

Energy Transfer Equation for Solid and Fluid

$$\frac{\partial}{\partial t} (\underbrace{\rho E}_{\text{比重}}) + \frac{\partial}{\partial x_i} [\underbrace{u_i(\rho E + p)}_{\text{流速}}] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\underbrace{k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_j}}_{\text{熱伝導率}} + \underbrace{u_i (\tau_{ij})_{eff}}_{\text{偏差応力テンソル}} \right) + S$$

移流
熱拡散
粘性加熱
ビーム発熱密度

ほぼ解析的に解けないので、大抵の場合は有限要素解析によって評価する

【(ある程度強引に)近似的に解く】
 固体限定かつ円筒対称近似等を導入

dT_{steady} for solid part

$$\frac{k}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial dT_{steady}}{\partial r} \right) = \underbrace{Q_{ave} \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}}_{\text{時間平均した発熱分布}}$$

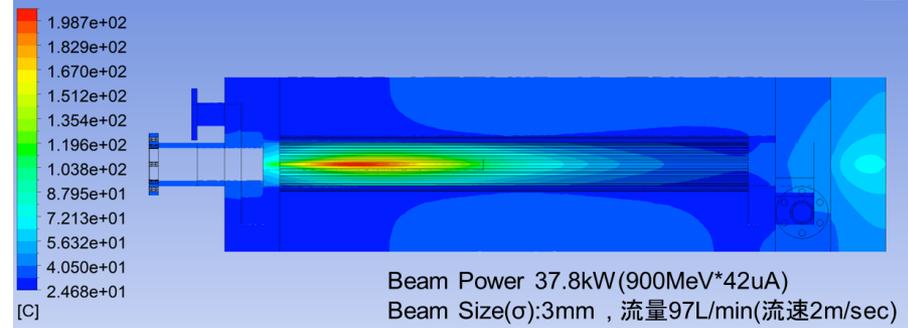
時間平均した発熱分布

$$dT_{steady} = \frac{Q_{ave}}{4\pi k} \ln \left[\frac{1 + \frac{R^2}{2\sigma^2}}{1 + \frac{r^2}{2\sigma^2}} \right]$$

基準値 (ダンプ外周半径など)

モンテカルロ計算(発熱分布)
 & 有限要素解析(温度・応力)

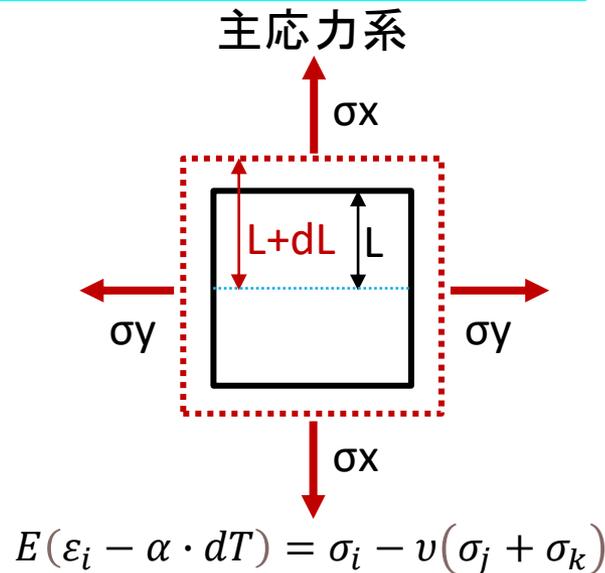
Thermal Analysis by ANSYS



熱応力の話

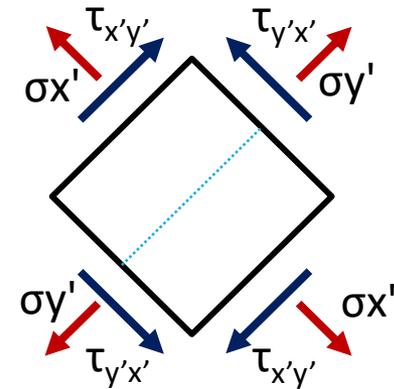
応力評価

微小要素における力の釣り合い



σ : (垂直)応力, τ : せん断応力
 E : ヤング率, ε : ひずみ = dL/L , dT : 昇温
 α : 線形熱膨張率, ν : ポアソン比

せん断応力が生じる系



($\sigma_x \gg \sigma_y$ として表記)

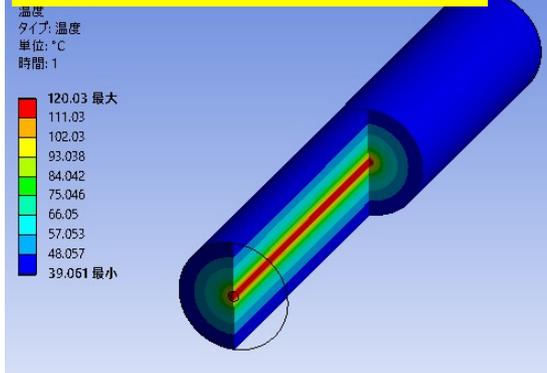
- ・熱膨張や外部負荷により[ひずみ]が生じる。[ひずみ]により応力が生じる。
- ・金属材料の破壊様式は[延性(せん断)破壊]が主要であり、相当応力(von Mises Stress)により許容負荷を検討する。

$$\sigma_{vM} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad \sigma_i: \text{主応力系の応力成分}$$

熱応力の評価/耐熱応力

円筒形状/円筒対称な温度分布における熱応力

計算モデルの温度分布



円筒座標系での応力表記

$$\sigma_r = \frac{E\alpha}{1-\nu} [K(b) - K]$$

$$\sigma_\theta = \frac{E\alpha}{1-\nu} [K(b) + K - T]$$

$$\sigma_z = \frac{E\alpha}{1-\nu} [2K(b) - T]$$

$$K = \frac{1}{r^2} \int_0^r Tr dr$$

耐熱応力の指標

[同じ温度分布]の下では式(a)が大きいほど熱応力に強い。

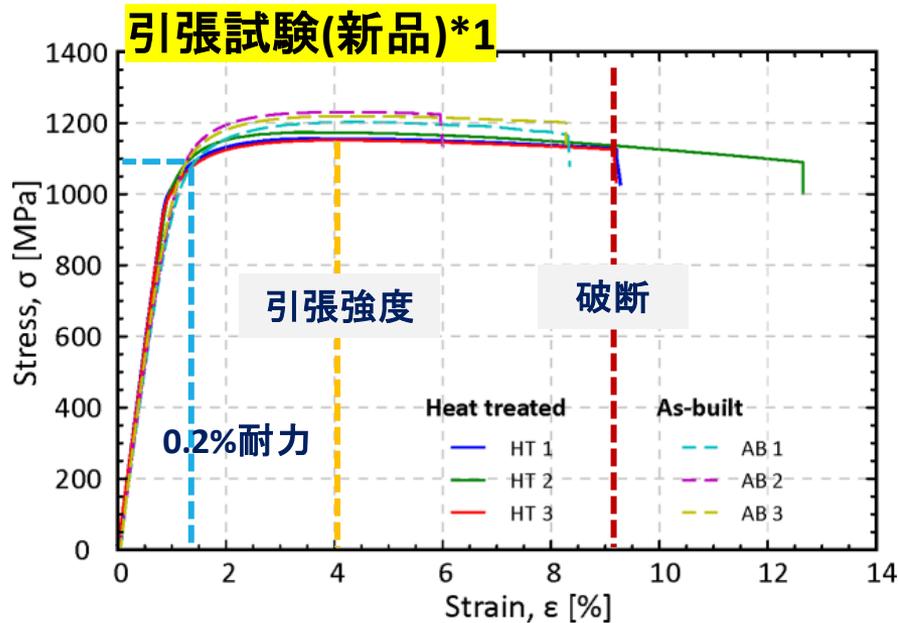
$$\frac{\sigma_{tensil}(1-\nu)}{E \cdot \alpha} \quad (a)$$

耐熱応力関係の材料特性

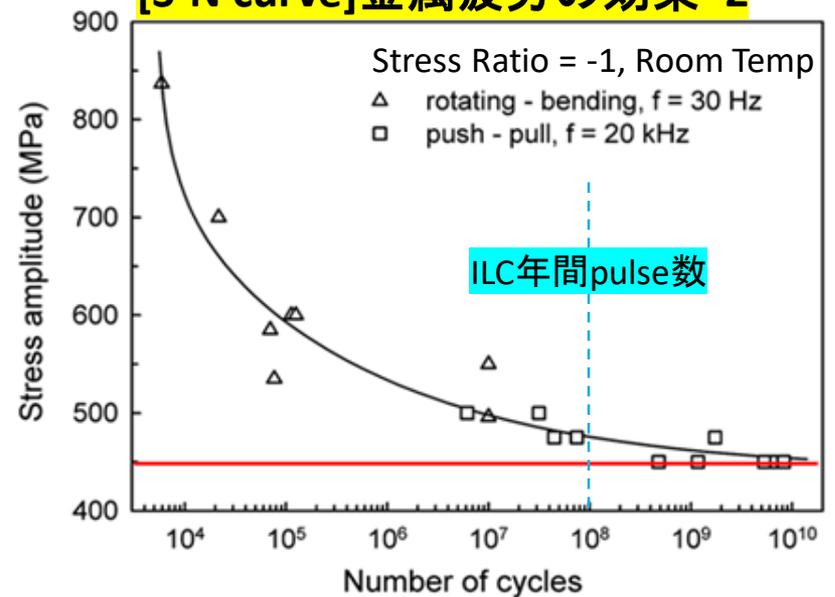
	Beryllium	Graphite IG430	Al alloy A6061-T6	Ti alloy Ti-6Al-4V	Be-Cu C10	Tungsten
ヤング率(GPa)	303	10.8	68.9	114	115	400
熱膨張率(e ⁻⁶ /K)	11.5	4.8	23.6	8.6	17.8	4.4
ポアソン比	0.18	0.14	0.33	0.33	0.33	0.28
引張強度(MPa)	370	37.2	310	1170	660	980
耐熱応力 - 式(a)	87	617	128	800	216	400
熱伝導率(W/mK)	216	140	167	6.7	218	163.3

許容応力

(例)Ti-6Al-4Vの強度



[S-N curve]金属疲労の効果*2



- ・ 応力変動により金属の引張強度は低下していく – 金属疲労
- ・ 金属疲労は応力比(最大応力と最小応力の比)や温度条件も影響する。

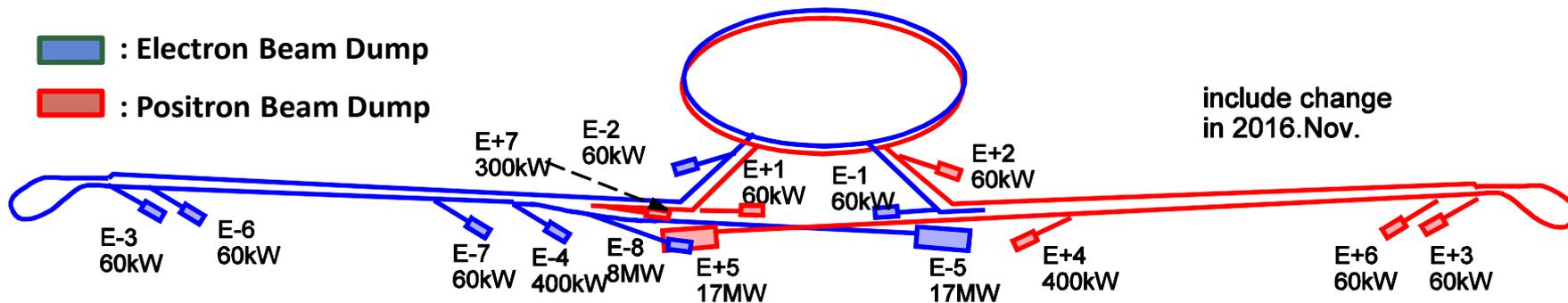
*1 M. Ackermann, et al, “Selective Laser Melting Technology and Individual Ti-6Al-4V Implants”, MM Science Journal 2019(2), 2867-2871, June 2019.

*2 M. Janefek, et al, “The Very High Cycle Fatigue Behavior of Ti-6Al-4V”, Acta Physica Polonica Series A 128, 497-503, October 2015.

ILCメインビームダンプの設計

- ・ILCのビームダンプ
- ・メインビームダンプの設備概要
- ・メインビームダンプの耐熱設計

ILCのビームダンプ

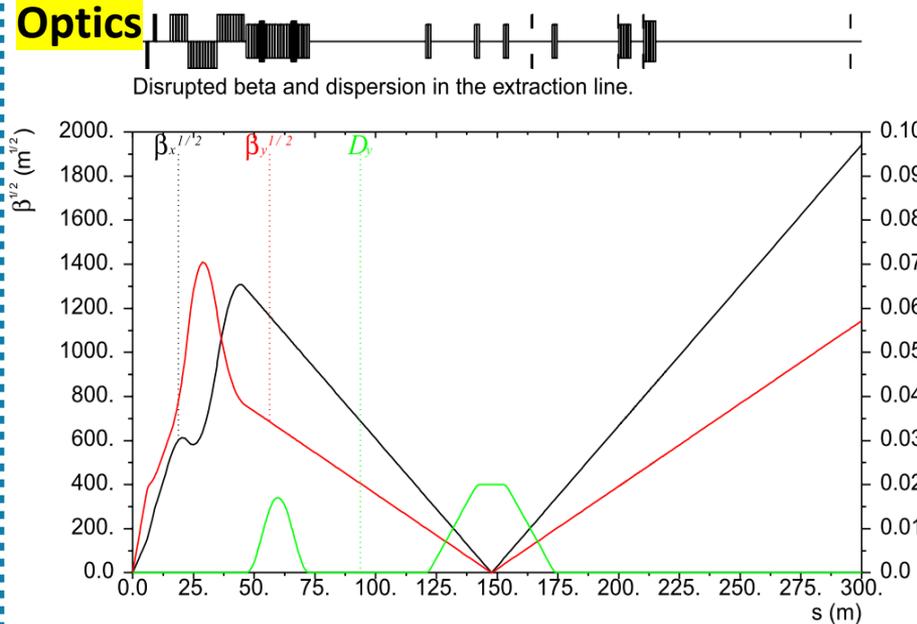


ILC全体で15基のビームダンプ

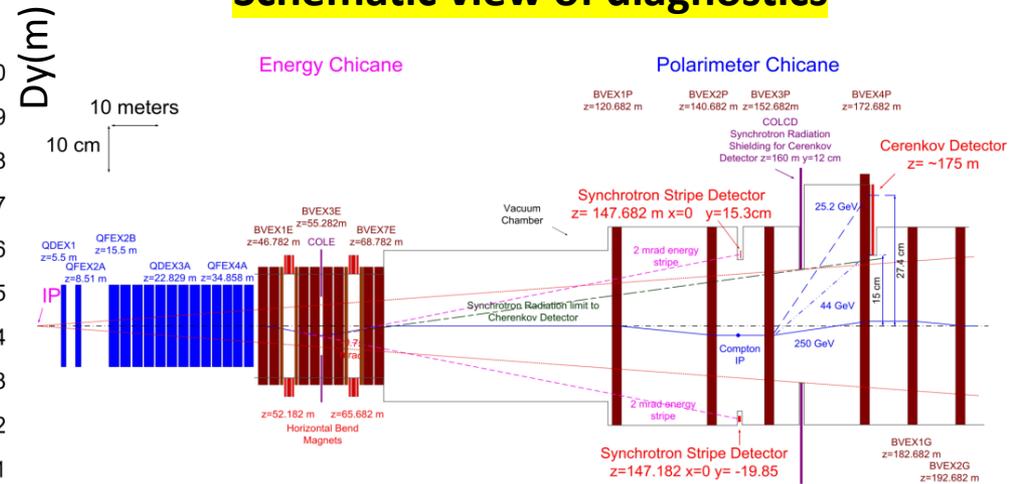
種類	粒子	仕様	吸収体	備考
ビーム調整用	電子・陽電子	60 kW, 9ヶ所	アルミ合金	低強度ビームによる加速器調整。比較的短時間または短期での利用。
	電子・陽電子	400 kW, 2ヶ所	黒鉛	メインライナックのビーム調整。異常時のビームアボートにも利用する。
陽電子生成光子用	光子	300 kW, 1ヶ所	黒鉛 or 水	Undulator陽電子源の場合に必要。光子は曲げられないので特殊。
Undulator陽電子源での10Hz運転用	電子	8 MW, 1ヶ所	水	Undulator陽電子源の場合に必要。主ビームダンプと同じレベル。
主ビーム用	電子・陽電子	17 MW, 2ヶ所 含20% マージン	水	連続照射として世界最高の大強度ビーム 年間5000時間程度の連続運転を想定

[Extraction Line] IP to Main Beam Dump

Extraction Line



Schematic view of diagnostics

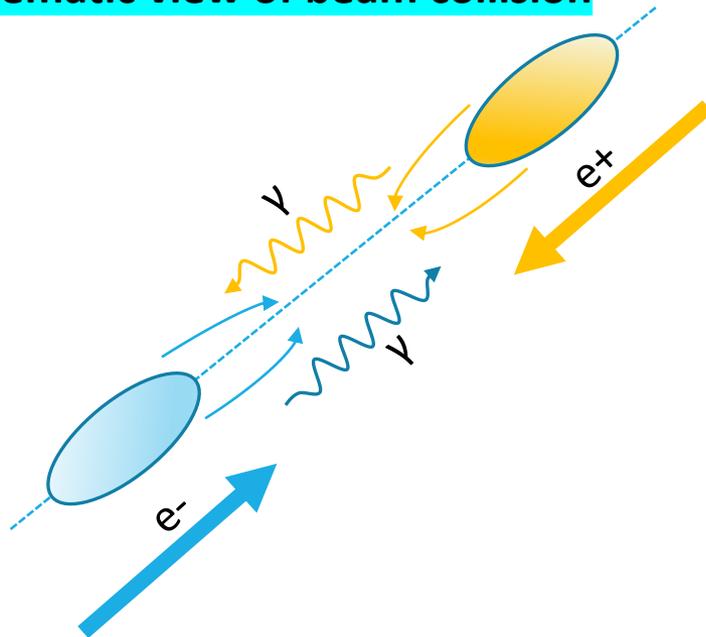


IPからメインビームダンプまで300m離れている。

- Energy chicane for energy spectrum measurement. (55m away from IP)
- Compton IP for polarization measurement. (150m away from IP)
- 19 sweep magnets for heat density reduction at dump. (~200m away from IP)

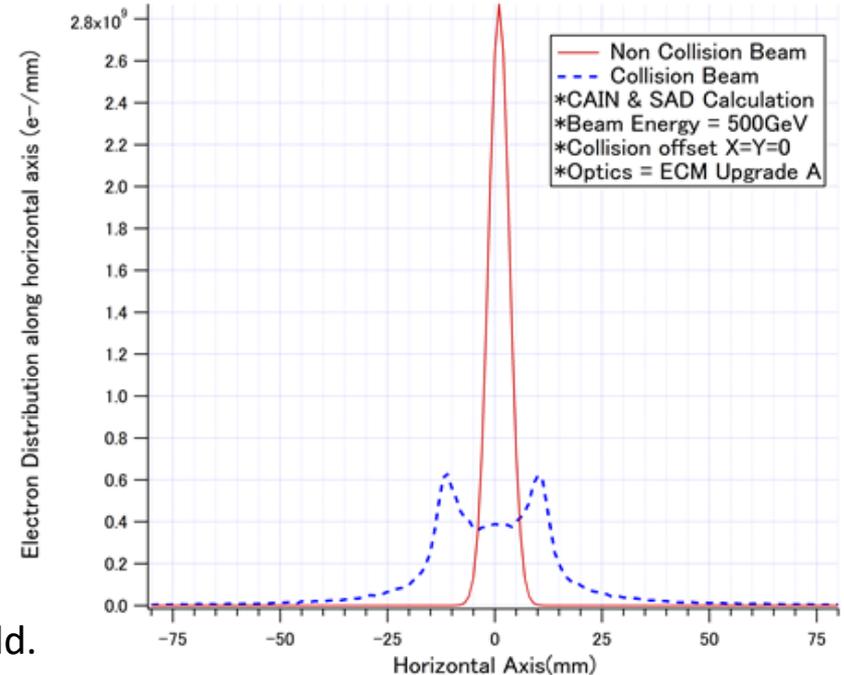
Beam Collision

Schematic view of beam collision



1. Beam shape and orbit are disrupted by Beam EM field.
2. Photons are generated by the orbit disruption.

Difference in beam size at Beam Dump



ビーム電磁場によりビーム形状、軌道は歪められる。

ビームサイズが拡大されることでメインビームダンプの発熱密度は低下する。
(上の計算例では5倍程度ビームサイズが拡大している。)

Beam Power of ILC

Beam Parameters at IP (from TDR)

			Baseline	1st Stage	L Upgrade	TeV Upgrade		Dump Design
			500	250	500	A	B	1000
Centre-of-mass energy	E_{CM}	GeV	500	250	500	1000	1000	1000
Collision rate	f_{rep}	Hz	5	5	5	4	4	4
Electron linac rate	f_{linac}	Hz	5	10	5	4	4	4
Number of bunches	n_b		1312	1312	2625	2450	2450	2820
Bunch population	N	$\times 10^{10}$	2.0	2.0	2.0	1.74	1.74	2.0
Bunch separation	Δt_b	ns	554	554	366	366	366	337
Pulse current	I_{beam}	mA	5.79	5.8	8.75	7.6	7.6	9.5
Average total beam power	P_{beam}	MW	10.5	5.9	21.0	27.2	27.2	36
Estimated AC power	P_{AC}	MW	163	129	204	300	300	
RMS bunch length								
Electron RMS energy spread								
Positron RMS energy spread								
Electron polarisation								
Positron polarisation								
Horizontal emittance								
Vertical emittance								
IP horizontal beta function	β_x^*	mm	11.0	13.0	11.0	22.6	11.0	
IP vertical beta function (no TF)	β_y^*	mm	0.48	0.41	0.48	0.25	0.23	
IP RMS horizontal beam size	σ_x^*	nm	474	729	474	481	335	
IP RMS vertical beam size (no TF)	σ_y^*	nm	5.9	7.7	5.9	2.8	2.7	
Luminosity (inc. waist shift)	L	$\times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	1.8	0.75	3.6	3.6	4.9	
Fraction of luminosity in top 1%	$L_{0.01}/L$		58.3%	87.1%	58.3%	59.2%	44.5%	
Average energy loss	δ_{BS}		4.5%	0.97%	4.5%	5.6%	10.5%	
Number of pairs per bunch crossing	N_{pairs}	$\times 10^3$	139.0	62.4	139.0	200.5	382.6	
Total pair energy per bunch crossing	E_{pairs}	TeV	344.1	46.5	344.1	1338.0	3441.0	

電子・陽電子
ビームの合計

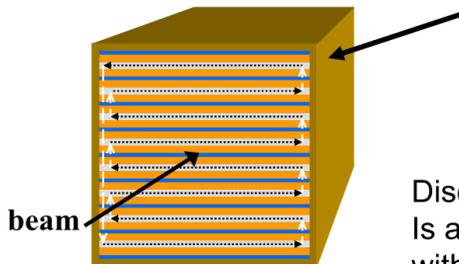
1st Stage ~3MW
Future(Final?) Upgrade ~14MW
Dump Design ~18MW

メインビームダンプ設計の話

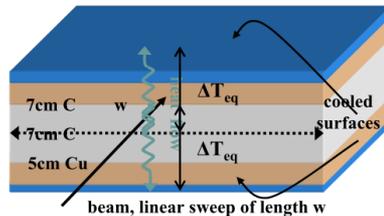
Main Beam Dumpの設計案

設計の可能性は色々検討された。

- Capture shower longitudinally
- Heat of order 100kW/cm
- Extracted by transverse heat conduction

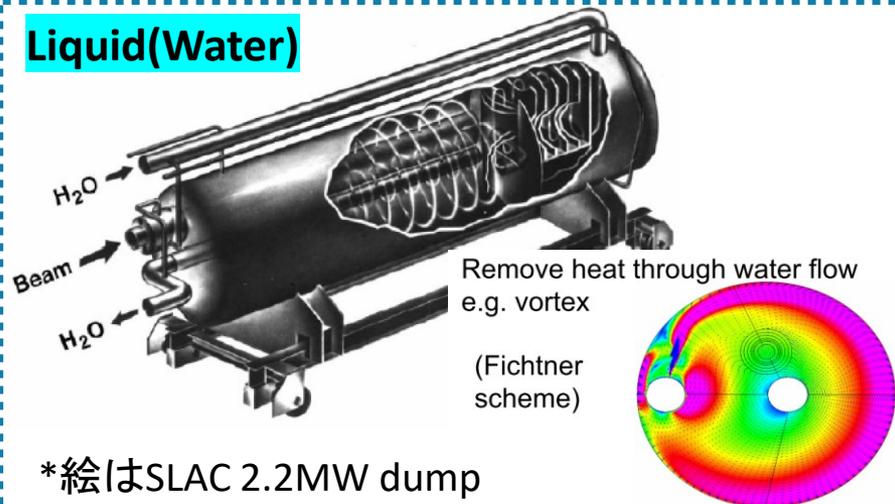


Solid(C and Cu)



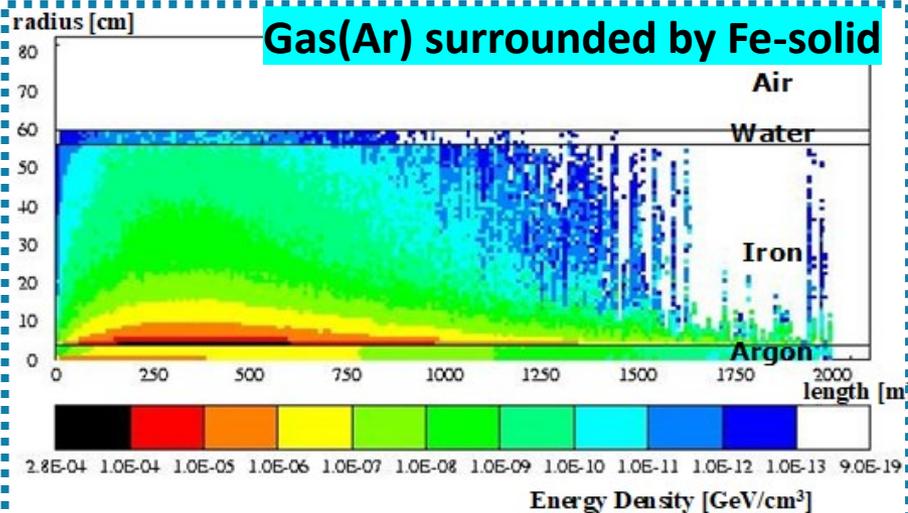
Discussion:
Is a huge and heavy absorber,
with insufficient heat removal for
the ILC...not an option

Liquid(Water)



*絵はSLAC 2.2MW dump

Gas(Ar) surrounded by Fe-solid

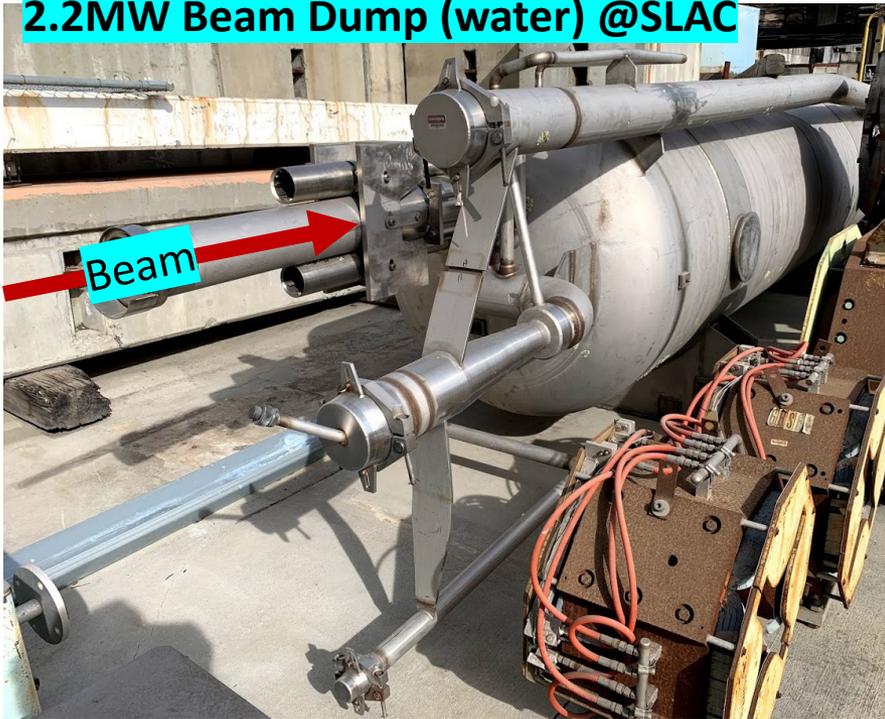


Choice !!

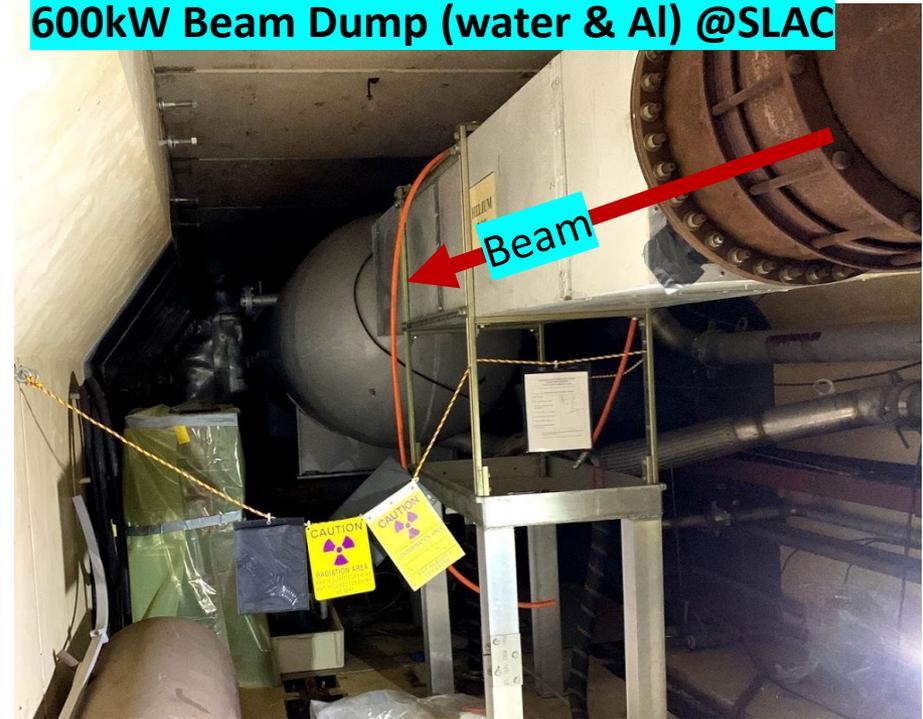
- 【Solid】寸法: $\sim 2 \times 2 \times 5$ (m)
Large Beam Window Sweep $\sim \phi 2m$
- 【Liquid】寸法: $\sim \phi 1.5 \times L10$ (m)
Window $\sim \phi 30cm$, Sweep $\sim \phi 12cm$
- 【Gas】寸法: $\sim \phi 1.2 \times L2000$ (m)
Small Window $\sim \phi 8cm$, Sweep is not mandatory.

Water Dumpの設計

2.2MW Beam Dump (water) @SLAC



600kW Beam Dump (water & Al) @SLAC

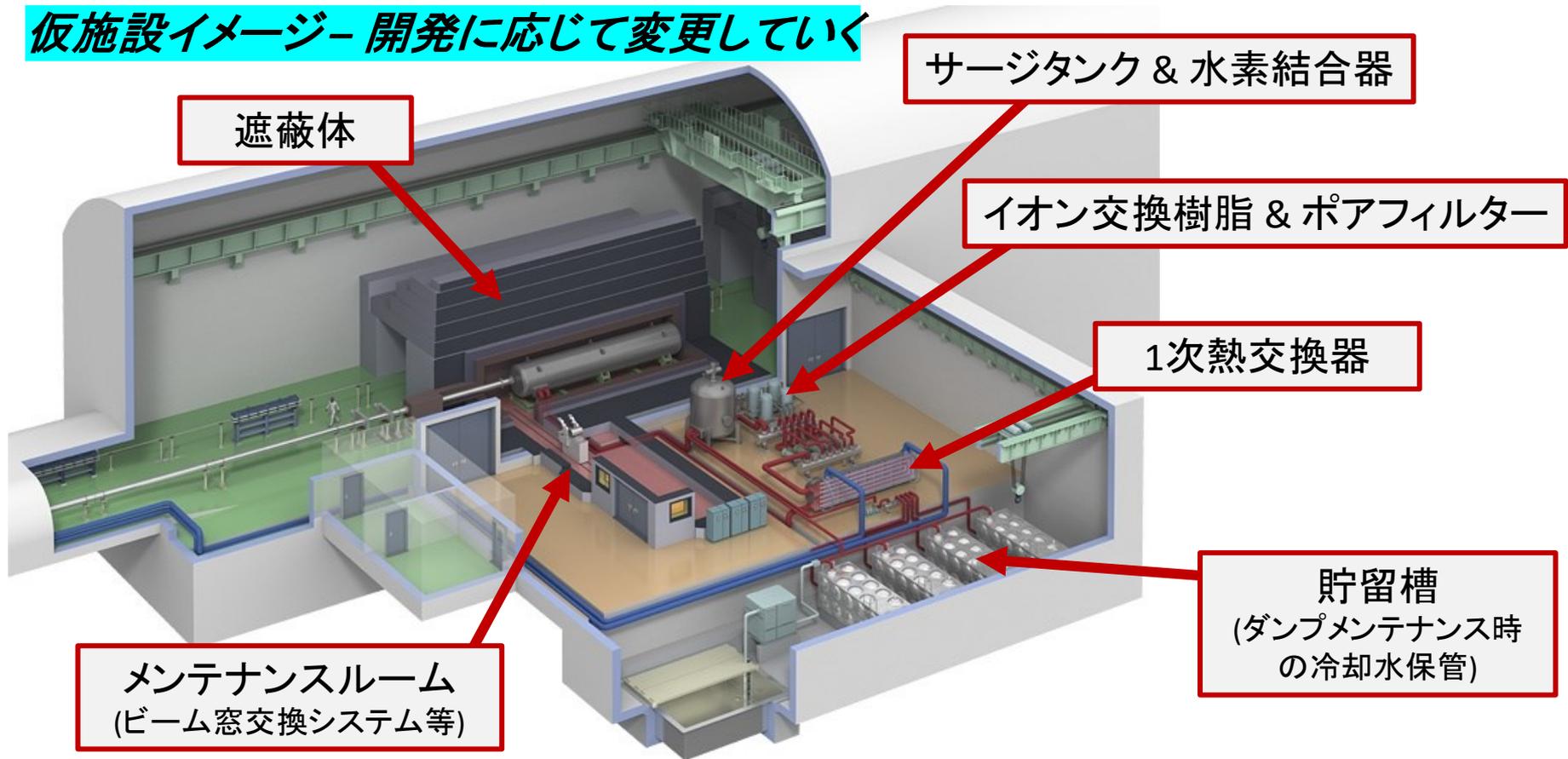


SLAC 2.2MW Beam Dumpを規模拡張することで18MW Beam Dumpを設計*

P. Satyamurthy, et.al., "design of an 18 MW vortex flow water beam dump for 500 GeV electrons/positrons of an international linear collider", NIM A 679 (2012)

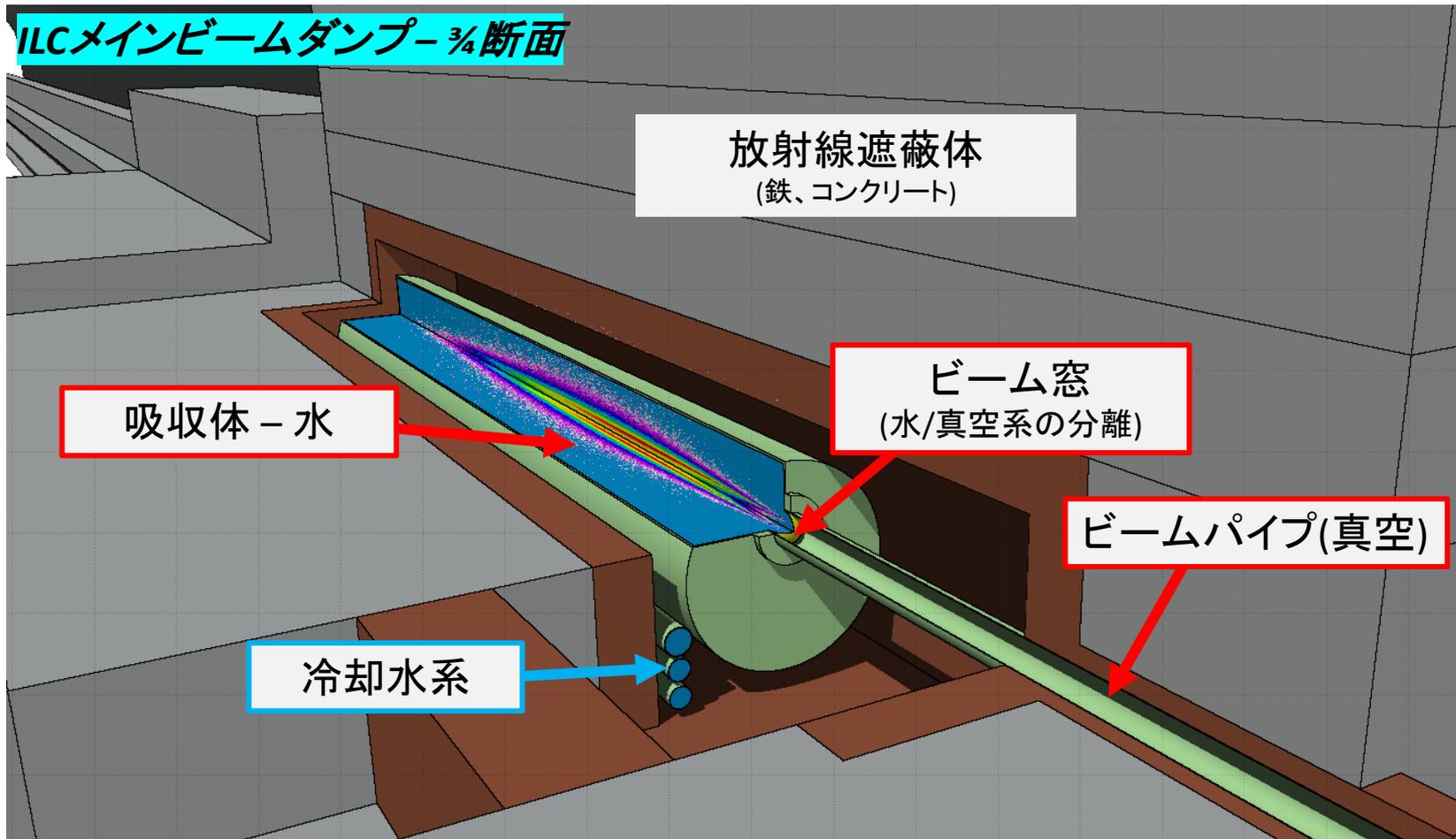
ビームダンプの構成要素-付帯施設

仮施設イメージ-開発に応じて変更していく



- ・1次冷却水は完全閉鎖ループとし外に出すことない。
冷却水中のトリチウム以外の放射化物はイオン交換樹脂及びフィルターで除外。
- ・遮蔽体はクリアランス制度をクリアできるように構成(鉄50cm+コンクリート5.5m)。

メインビームダンプの構成要素

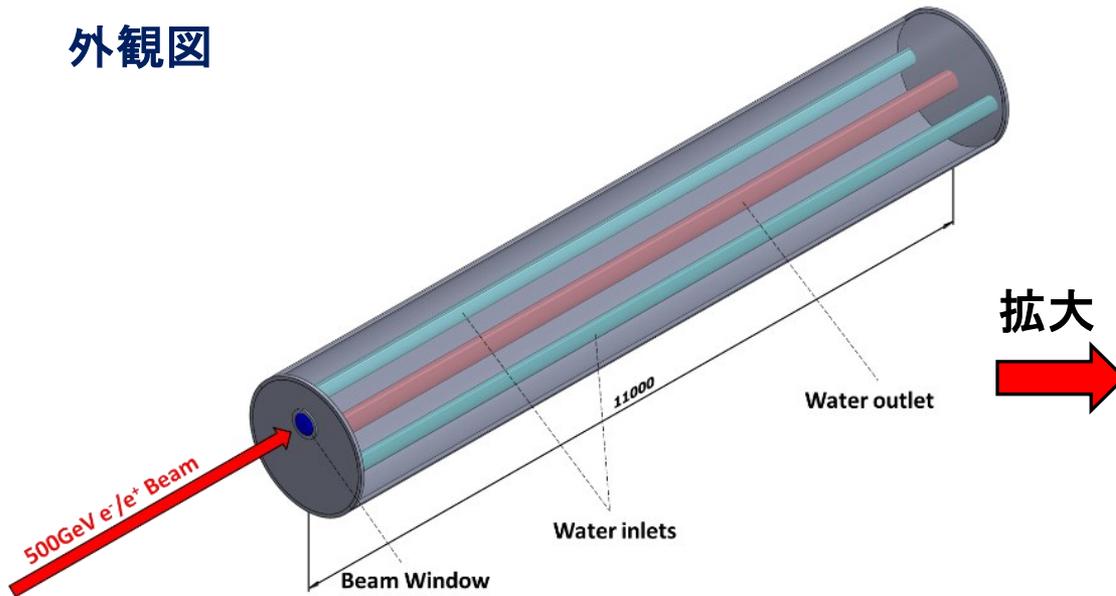


上記は最小限の構成要素、
必要に応じてモニターや保守に向けた交換機構などが付加される。

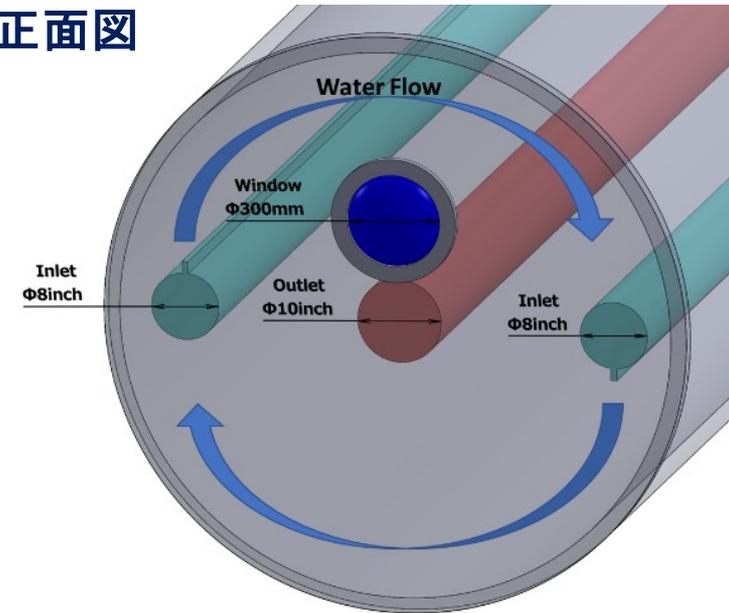
本体構造

主ビームダンプ本体構造

外観図



正面図



・水吸収体と強制対流によるビーム熱輸送.

* 水圧 1 MPa ⇒ 沸点 180°C

* 渦水流 ⇒ 質量流量: 104.5kg/sec each inlet, 平均吐出流速 2.17m/sec

・チタン合金(Ti-6Al4V)によるビーム窓。

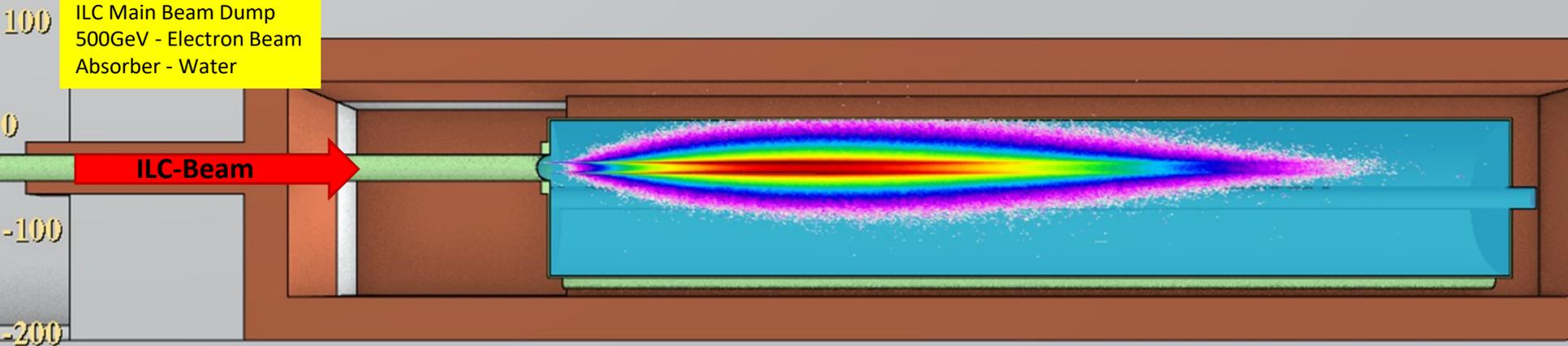
φ300mm × t5mmの球殻構造。ビームは走査されながらダンプに入射する。

・ビーム走査(φ12cm)による熱負荷の分散

熱負荷

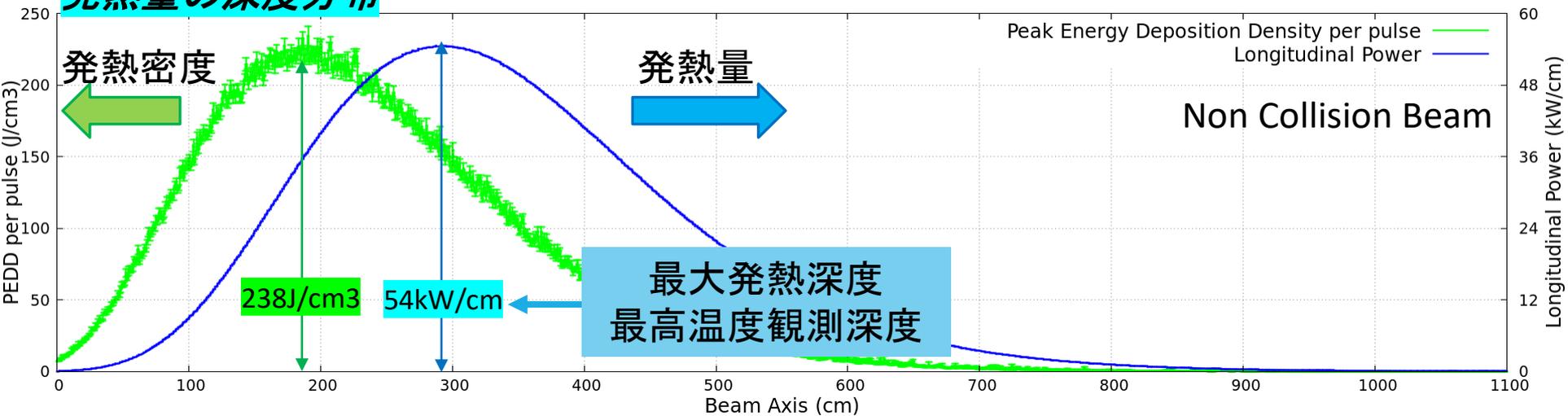
電磁シャワー粒子のFLUX

ILC Main Beam Dump
500GeV - Electron Beam
Absorber - Water



発熱量の深度分布

18MW Beam Dump (500 GeV * 36 um)



最大発熱密度と最大発熱量が観測される深度は異なる。

どこにビームを打ち込めば良いか？

2次元流体解析 by ANSYS FLUENT

Energy Transfer Equation

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_i} [u_i(\rho E + p)]}_{\text{移流}} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} \left(k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_j} + u_i(\tau_{ij})_{eff} \right)}_{\text{熱拡散}} + S$$

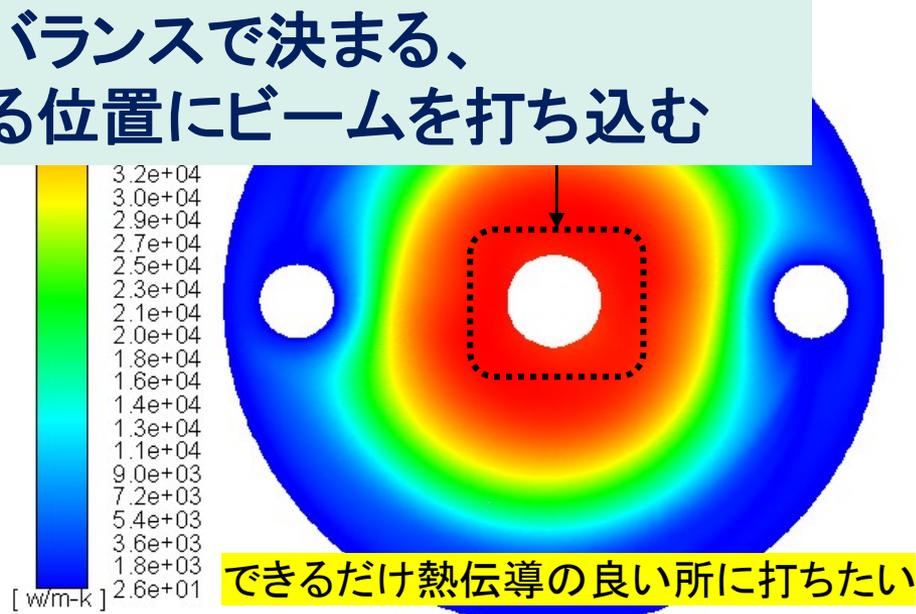
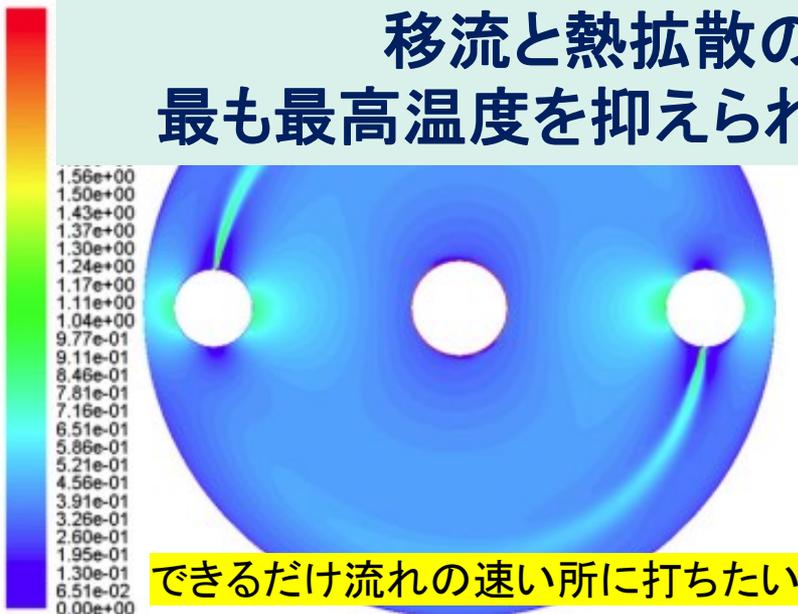
移流

熱拡散

流速分布(m/sec)

有効熱伝導率(W/m/K)

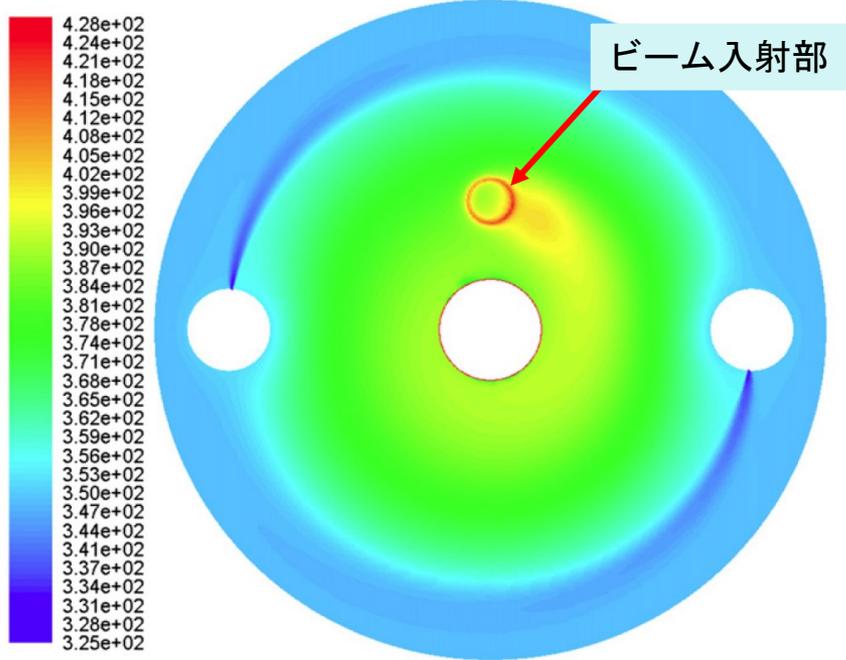
移流と熱拡散のバランスで決まる、
最も最高温度を抑えられる位置にビームを打ち込む



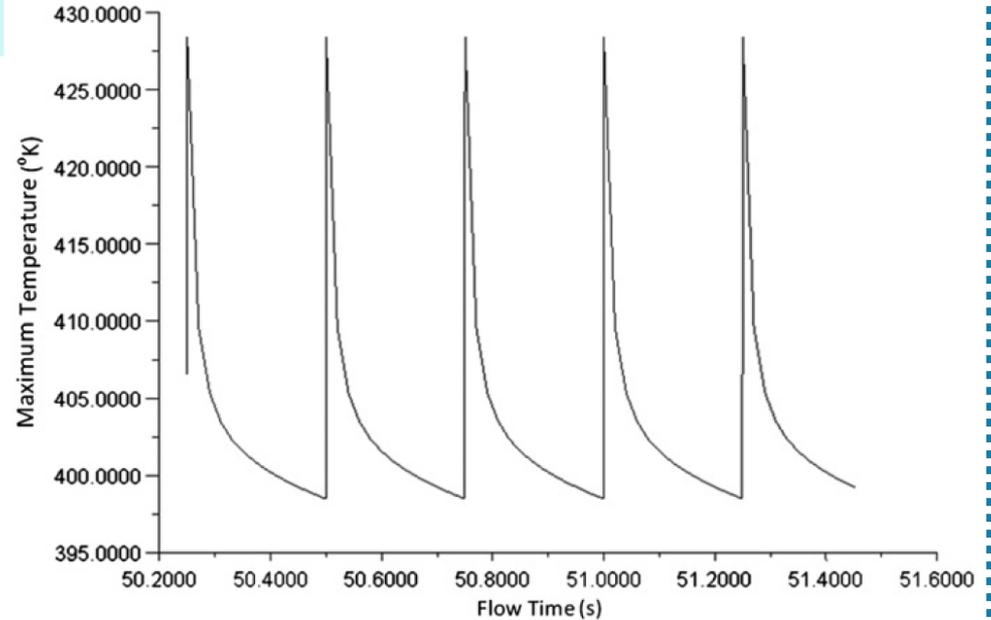
温度応答

温度応答(18MW入射時) – Non Collision Beam, Z=290cm

最高温度観測時の温度分布(K)



最高温度の時間変化



- ・最高温度は最大発熱量が観測される、深度z=290cmで生じる。
- ・未衝突ビームでも沸点180°Cを越えない。

【最高温度の評価】

Beam Dump Design(18MW) – 155°C,

ILC Max Beam Power(14MW) – 122°C , ILC 1st Stage (2.6MW) – 68°C

ビーム窓の事例

ビーム窓の事例

大強度ビームダンプ近傍のビーム窓

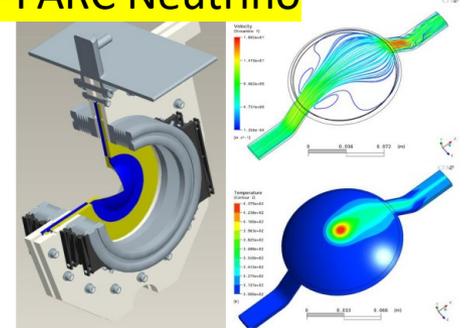
Laboratory	Material	Dimensions(mm)	Heat Load on Beam Window
ILC-Main Beam Dump	Ti-6Al-4V	t5 × φ300	105W at 14MW
SLAC Water Dump	Cromeplated Cu	t1.25 × φ80	193W at 2.2MW
SLAC SL-30	A6061-T6	t4.7 × φ100	99W at 600kW
Jefferson-Lab Beam Dump	A6061-T6	t9.4 × ~φ880	790W at 1MW
J-PARC Neutron	A5052	t1.5 - double wall	437W at 1MW
J-PARC Neutrino	Ti-6Al-4V	t0.3 - double wall	11W at 750kW
ESS Neutron Target	A6061-T6	t1.0 - double wall	2190W at 5MW

*上記の通り抜粋したが他にも事例はある。*窓発熱量は筆者がFLUKAにより計算した。

*FRIB-Beam Dumpも水dumpであり、t0.5mmのTi合金製外殻に18kWの熱が生じる。注目事例。

*リファレンスはテキストに記載

J-PARC Neutrino



ESS



- ・ ILC Beam Windowは熱負荷・窓厚み共に特別厳しくはない。
- ・ ビーム窓交換方法は設計検討中。
- ・ 第2ビーム窓の導入も検討中。(熱負荷の低さから成立する可能性は高い)

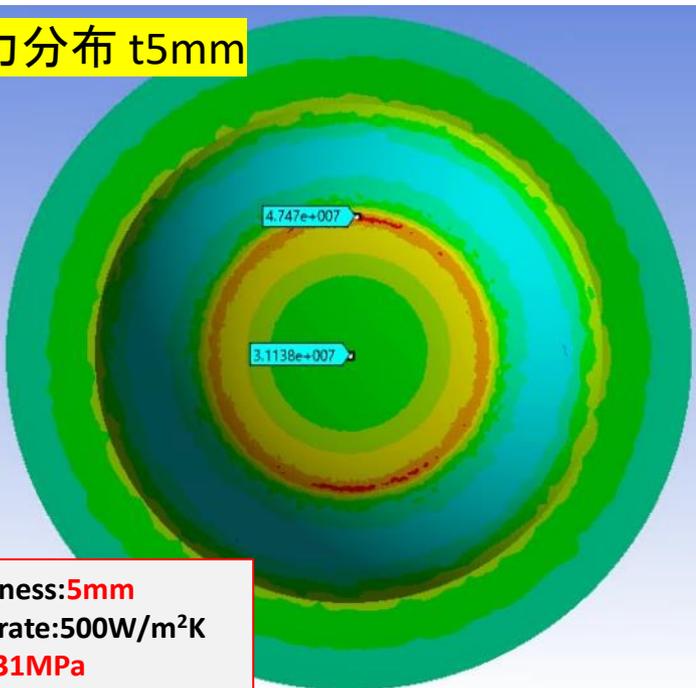
メインビームダンプ - ビーム窓

ビーム窓応力解析 - 18MW Beam

相当応力分布 t5mm

単位: Pa
時間: 1
2017/09/11 0:13

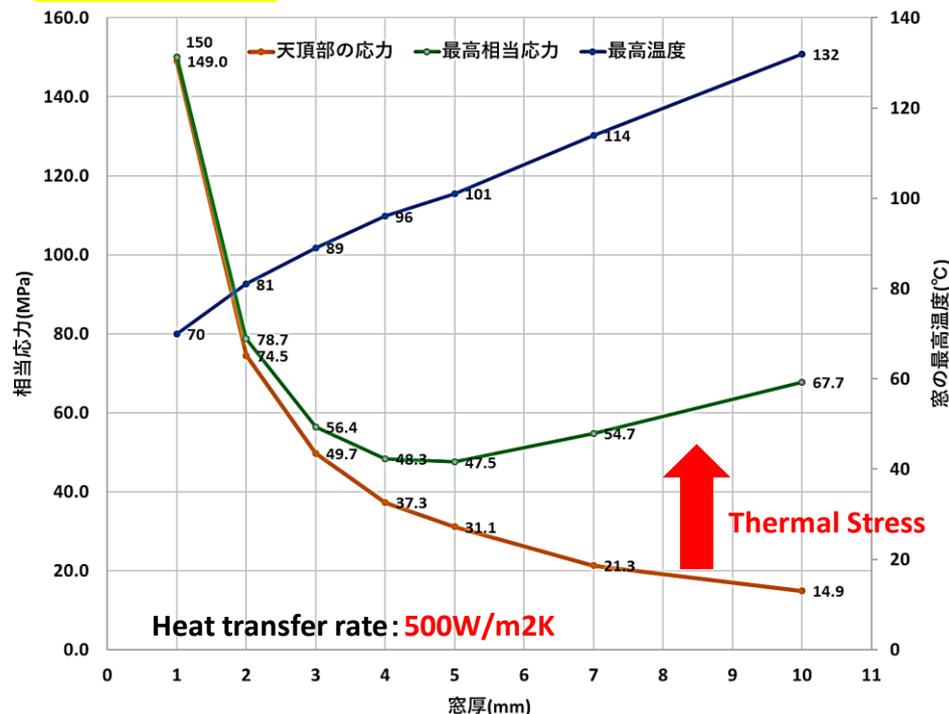
6.6664e7 最大
4.6272e7
4.1665e7
3.7059e7
3.2453e7
2.7847e7
2.324e7
1.8634e7
1.4028e7
9.4214e6 最小



- Window thickness: **5mm**
- Heat Transfer rate: **500W/m²K**
- Zenith Stress: **31MPa**
- Max Stress: **48MPa**

窓厚依存性

応力と窓厚の関係



- 電磁シャワー発展前であるためビーム窓での発熱量は低い。
⇒ 発熱量: 25W/mm, **5mm厚ビーム窓で125Wしか発熱しない。**
- 水圧及びビーム熱により球殻部分に応力が生じる。
- Ti-6Al-4Vは金属疲労時においても450MPa程度の引張強度を持つ。
最大相当応力48MPa @5mm厚窓 vs Ti6Al4V 強度 450MPa
⇒ **機械強度として問題ない範囲**

水中の圧力波

ビーム熱による瞬時的熱膨張が圧力波として振動・伝播
負圧によるキャビテーション(気泡生成)が課題となり得る。

1Bunchの圧力上昇

▪ Mie Gruneisen Shock Equation $P = P_H + \Gamma\rho(e - e_H) \Rightarrow \delta P = \Gamma\rho\delta e$

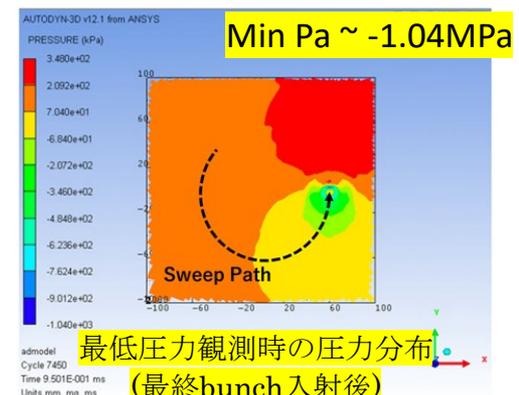
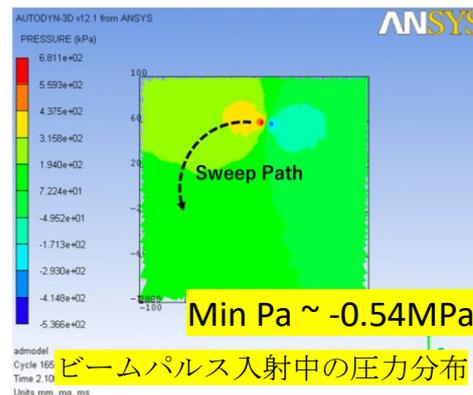
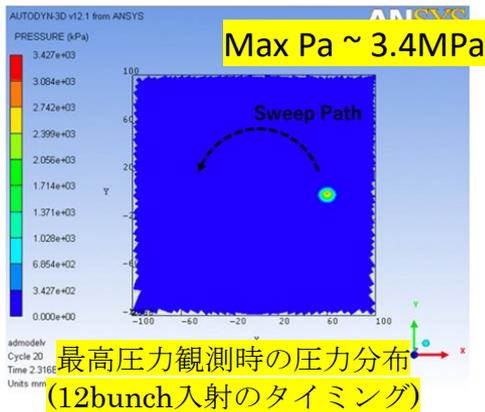
Γ : Gruneisen Gamma, ρ : density, e : energy deposition density

$\Gamma=0.35$ for 70°C water

1bunch pressure rise @ 18MW Beam $dP=0.35 \times 5.0\text{J}/\text{cm}^3 \sim 1.8\text{MPa}$

▪ 未衝突ビームかつ~10MW Beam以上で、
ビームパルス入射完了後にキャビテーションが起こり得る。

▪ ANSYS-AUTODYNで計算評価



放射線の話

放射線防護 – 残留放射線

モデル-3/4断面

主ビームダンプ

- ・14MWビーム時、ダンプ遮蔽体内の線量は $\sim 100\text{mSv/h}$
- ・メンテナンスは半自動の機構が望ましい。
(追加遮蔽体で短時間の作業なら可能と思われる)
- ・ILCのenergyでは放射化はビーム強度に比例する。
2.6MWビームでは1/5程度に落ちる。

20年フル

【14MW】

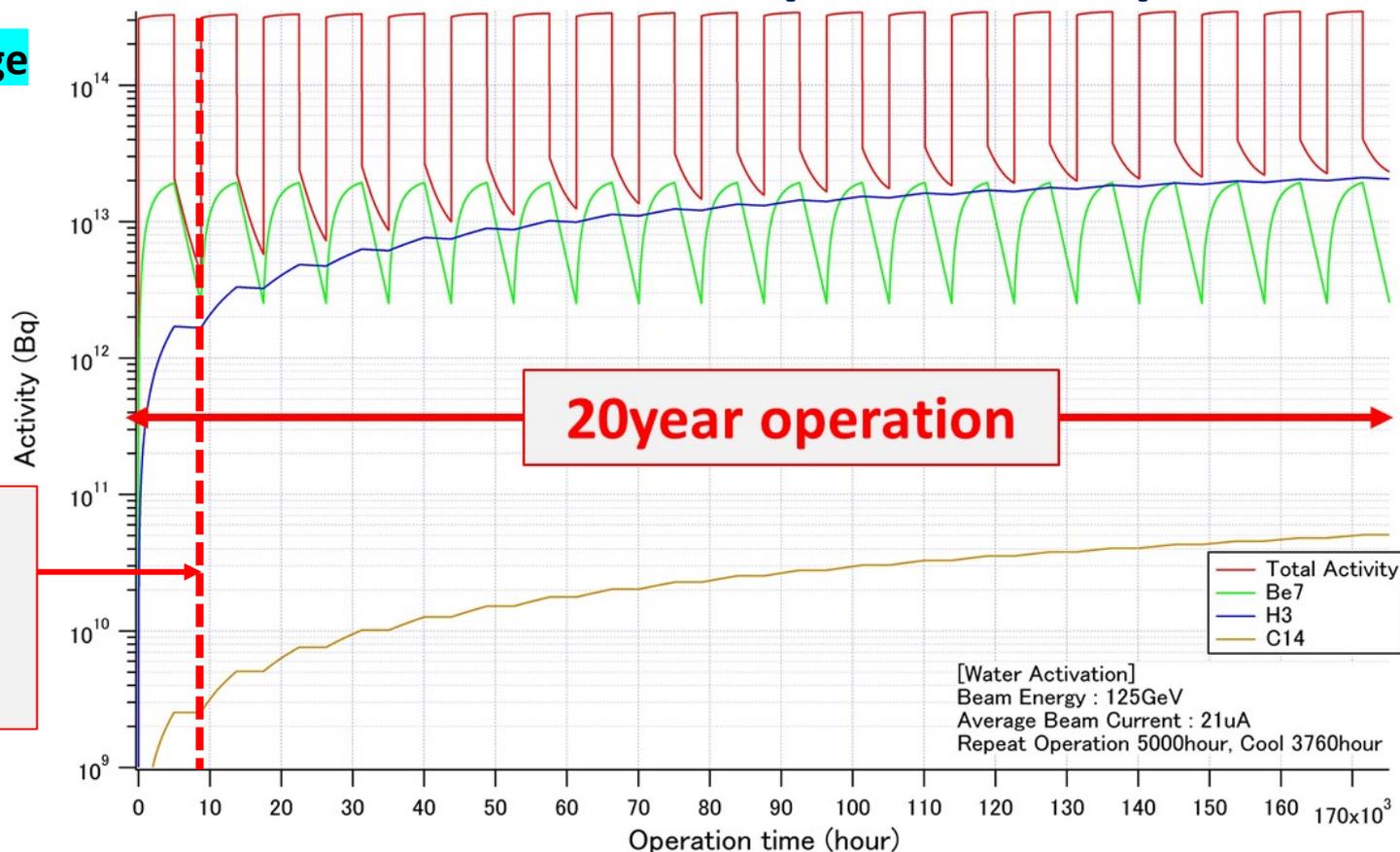
ダンプ前方部: $0.1\sim 0.5\text{ Sv/hour}$

ダンプ後方部: $0.01\sim 0.04\text{ Sv/hour}$

メンテナンスエリア: $\sim 10\text{ uSv/hour}$

放射線防護 - 放射化(冷却水中)

ILC 1st Stage



- ◆ ビームの直撃を受ける冷却水は放射化する。
ただし、長寿命で問題になりうる核種はBe7(53日)、H3(12年)、C14(5700年)。
- ◆ H3以外は冷却水系のイオン交換樹脂等で除外可能。トリチウムは冷却水と分離不可であるが、完全閉鎖である1次冷却水系から排出ことなく管理する。

ILCの多角的活用の話

ILCの多角的活用

ILCの多角的活用を考える会 I,
29-30 November 2017



【議論された活用案】

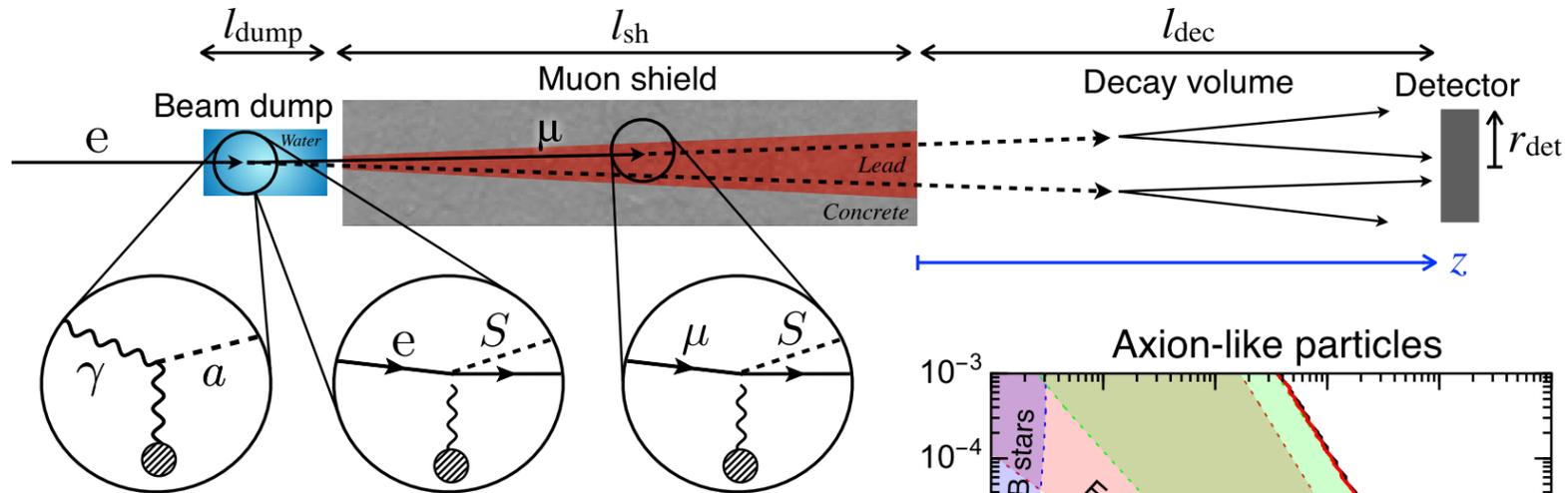
- ・放射光源活用
- ・ミュオンコライダー
- ・MeV帯光渦
- ・医療用RI製造
- ・中性子源
- ・プラズマ加速試験
などなど・・・



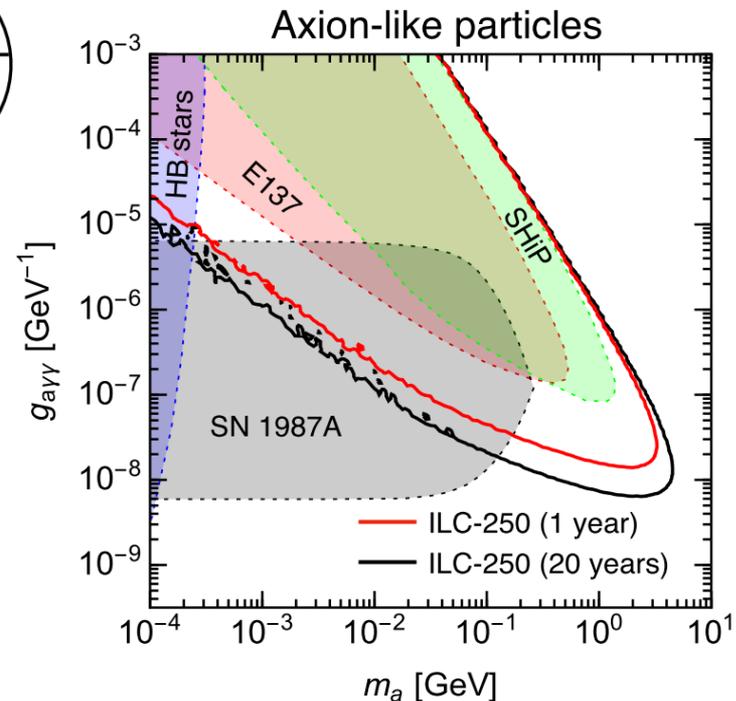
ILCの多角的活用を考える会Ⅲ 13-14, November 2018 @KEK

ビームダンプエリアはILCビームを
活用しやすい場所として注目される。

ILC beam dump experiment



- $L_{sh} + L_{dec} \sim 120\text{m}$ for $E_{cm} 250\text{GeV}$
- A fixed target experiment at ILC
- It shows an order of magnitude better sensitivity to new light particles than other experiments in small couplings.



- ILCビームは全てビームダンプに捨てられる。ダンプでは未知粒子も生成される？ ILC運転を阻害せず、ビームダンプ後部で未知粒子の探索実験もできる。

まとめ

- ✓ 世界動向としてビーム強度 - MW級の加速器が登場し始めている。ビームダンプなど高熱負荷装置の重要性は増す。
- ✓ メインビームダンプはビーム強度18MWに耐える様に設計している。また1st Stage(2.6MW)時の尤度ある運転を通して、設計最適化を進めることができると考えられる。
- ✓ 計画段階のため試験機はないが、実績のある形式を基にしている。2ndビーム窓の採用、ビーム走査の最適化など、高度化検討を進める。
- ✓ ビームダンプエリアは、ユニークな性能を持つILCビームを利用しやすい場所でもある。ほっておくには勿体なさすぎる。