

ERL用電子銃について

1. スケジュール零次案と超概算見積
2. 課題克服のための二つの提案(私案)

2006、06、09 大沢 哲

| | Device | JLAB | AES/JLAB | Cornell | Daresbury | JAERI | BNP | Boeing | LANL/AES | LUX | AES |
|---|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------|----------------|----------------|--------------|
| Parameter | | ERL FEL | Injector | ERL | ERLP | ERL | ERL FEL | Injector | Gun | Gun | ERL |
| Gun type | | DC | DC | DC | DC | DC | DC | NCRF | NCRF | NCRF | DC |
| <i>Injector and ERL</i> | | | | | | | | | | | |
| RF frequency (MHz) | | 1497 | 748.5 | 1300 | 1300 | 499.8 | 180 | 433 | 700 | 1300 | 748.5 |
| PRF (MHz) | | 74.85 | 748.5 | 1300 | 81.25 | 10.41 (83.3) | 11.2 (90) | 27 | 33.3 (350) | 1300 | 300 |
| Charge/bunch (nC) | | 0.133 | 0.133 | 0.077 | 0.08 | 0.5 | 1.7 | 4.75 | 3 | 1 | 100 |
| Current (mA) | | 10 | 100 | 100 | 6.5 | 5 (40) | 20 (150) | 32 (132 Peak) | 100 (1050) | 1300 | 500 |
| Injector energy (MeV) | | 7 | 7 | 5–15 | 8.35 | 2.5 | 2 | 5 | 2.5 | | 2.5 |
| Transverse rms normalized emittance (μm) | | <7 (7) | 1.2 | <1.0 | 1.5 | 30 | 32 (15) | 7 | 6 | | 2.5 |
| Longitudinal rms emittance (keV-ps) | | 17 (80) | 44 | 21 | 13.3 | | | | 145 | | 60 |
| RMS bunch length (ps) | | 3.2 (0.35) | 6.3 | 2 | 4 | | 50 | | | | 10 |
| RMS energy spread (%) | | 0.1 (0.13) | 0.5 | 0.12 | 0.24 | | <1 | 3 | 0.5 | | 3 |
| ERLP energy (MeV) | | 160 | N/A | 100 | 35 | 17 | 12.8 (14) | N/A | N/A | N/A | 200 |
| ERL energy goal (MeV) | | 200 | N/A | 5000 | 35 | | 40 | N/A | N/A | N/A | 400 |
| <i>Electron gun</i> | | | | | | | | | | | |
| DC gun voltage (kV) | | 350 | 500 | 500–750 | 350 | 230 | 300 | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Gun accelerating field (MV/m) | | 4 | 7 | 8 | 4 | | 1 | | 2007/7/5 | 20/13/13 | 20 |
| Cathode material | | GaAs | GaAs | GaAs | GaAs | Thermionic | Thermionic | CsKSb | Multi-Alkali | TBD | D |
| Drive laser FWHM pulse length (ps) | | 44 | 44 | 30 | 20 | N/A | N/A | 53 | 16 | | 10 |
| Laser wavelength (nm) | | 527 | 527 | 527 | 527 | N/A | N/A | 527 | 527 | | 527 |
| Laser power at 5% QE (W) | | 0.5 | 5 | 5 | 0.325 | N/A | N/A | | 5 (53) | | 5 (40) |
| <i>Booster (DC) or gun (RF)</i> | | | | | | | | | | | |
| Booster or gun type | | SRF | SRF | SRF | SRF | SRF | NCRF | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Geometry (Cavities \times Cells) | | 2 \times 5 | 4 \times 1 | 5 \times 2 | 2 \times 9 | 2 \times 1 | 3 \times 1 | 1 \times 1.5+1 \times 3 | 1 \times 2.5 | 1 \times 2.5 | 1 \times 1 |
| Couplers per cavity/type | | 1/WG | 1/CX:1/WG | 2/CX | 2/WG | | 1/CX | 2/WG | 2/WG | 3/WG | 2 |
| Coupler power (kW) | | 50 | 350 | 50 | | | 50 (200) | | 500 | | 50 |
| Status | | Operational | Assembly | Fabrication | Fabrication | Operational | Operational | Retired | Fabrication | Analysis | DC |

電子銃開発に関するコメント 栗木雅夫

1. ERLについてはベースとなるデザインは NEAGaAsカソード+DCバイアス (500kV)電子銃である。まずそれらを実現するための計画に全ての資源(資金、人的資源)をふりわけべきである。したがって現状では熱電子銃バックアップについて、計画に上程する必要性は乏しい。現在ベースラインデザインのプロトタイプ銃を原研で製作中であるので、まずその研究の進捗により、計画を適宜見直すべきである。なお、光電陰極から熱電子銃への変更はエミッタンスやパルス長において、計画全体の意義を考え直すほどの大きな変更であり、たんなる電子銃における技術選択のひとつではなく、計画全体からの見直しとして捉える必要がある。
2. ERL電子銃からのビーム電流および品質はカソードとレーザーで決まるので、長期的かつ戦略的に開発に取り組む必要がある。KEKには現在までのところ、そのような開発を担うだけの実績や人的資源および施設の裏付けがない。またERL電子銃が定常運転に移行したのちも継続的な性能向上の取り組みが必要である。単なる外注によるレーザーおよびカソード開発はERL計画全体のボトルネックとなる可能性が非常に大きい。




3. そのためにKEKに将来にわたり光電陰極によるビーム発生に継続的に取り組む体制をつくり、
その体制のもとにERL電子銃開発および運転を行う必要がある。研究者の組織横断的な協力体制であるLAAA(Laser Aided Accelerator Association)の協力のもと、KEKが主体的に人材の教育と技術開発に取り組む体制をつくるのが急務である。
4. レーザー技術は光電陰極によるビーム発生のみならず、レーザー加速、コンプトン散乱によるX線発生、プロセス技術など先端的な加速器コンセプト等において中核となるものである。加速器開発のナショナルセンターであるKEKがレーザー部門を持つことはこれからの技術展開を考えたうえで必然といえる。したがって、レーザー開発にKEKが主体的に取り組むことはKEK全体の展開のうえでも重要な位置づけをもつものである。

カソードおよびレーザー開発の手順として以下のようなものを提案したい。

- 1) KEK(高エネルギー加速器研究機構、加速器研究施設、および物質構造科学研究所)はLAAAにレーザー開発において協力の要請を行う。
- 2) KEKはLAAAの助言のもとに、ERLのためのレーザー開発、運転、そして継続的な性能向上のための長期的計画、そのための体制、施設、その整備計画を策定する。
- 3) KEKは策定された計画のもと、既存の資源(人材、レーザー装置、建屋等)を活用し、かつ必要に応じて外部に人材等をもとめつつ、研究開発をおこなう体制を整える。

JLAB DC GaAs Photocathode gunの運転状況から予想される諸問題と対策

- ① $8\text{mA/pulse}(110\text{pC/bunch}) \times 16\text{ms} \times 2\text{Hz}$
- ② $9.1\text{mA/pulse}(122\text{pC/bunch}) \times 1\text{s} \times 75\text{MHz} = 9.15 \times 10^{-3}\text{C/s}$
QE 補給間隔 $\sim 450\text{C}/(9.15 \times 10^{-3}\text{C/s}) = 14\text{ hour}$

| | 平均電流 | QE (%) | laser power | Cs補給間隔 |
|----|--|--------|---|---|
| 1) | 1.1mA  | 5.23% | 55mW (laser)  | 114 hour  |
| 2) | 100mA | 5.23% | 5.5 W (laser) | 1.1 hour (イオン衝撃 \propto I-beam) |

課題

長寿命化

① 超高真空 ($< 10^{-11}\text{mbar}$) と ② 超微小ダーク電流 ($< 10\text{nA}$)

電流増強

③ laserの高出力化 ④ 高QE値化

低エミッタンス化

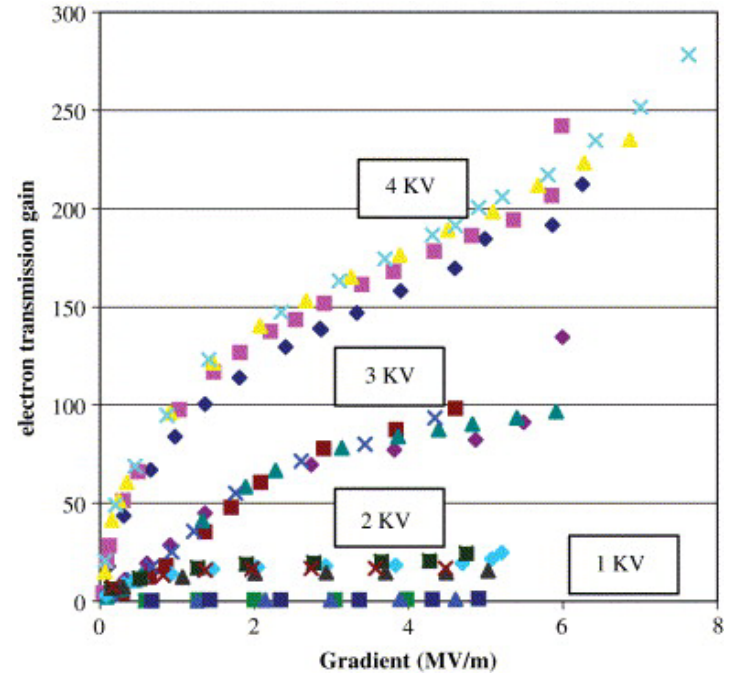
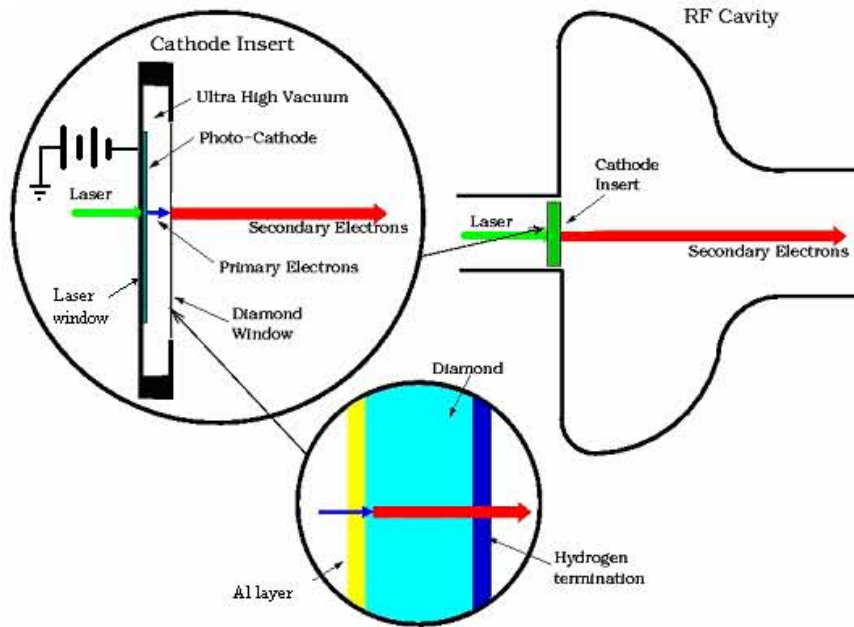
⑤ 高加速電圧 ($> 500\text{kV}$)

提案1

ダイヤモンド箔を用いてビーム電流を100倍に増幅する。同時に、ダイヤモンド箔と陰極を一体化し、陰極を環境から切り離すことが出来ないだろうか？

SECONDARY EMISSION YIELD OF A THIN DIAMOND

The schematic of the secondary emission enhanced photo-injector

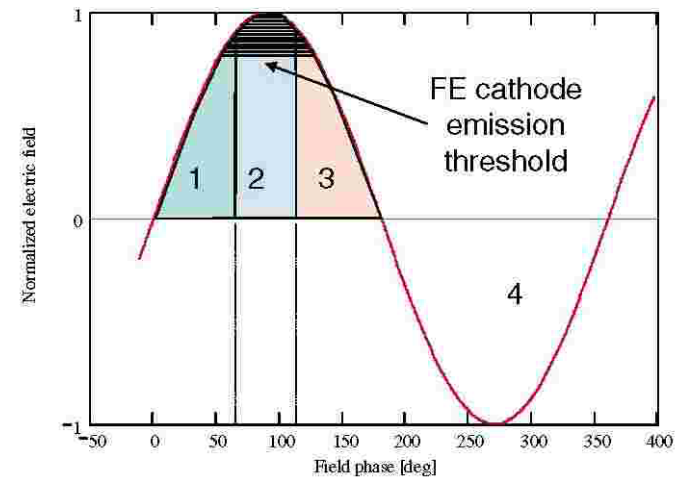
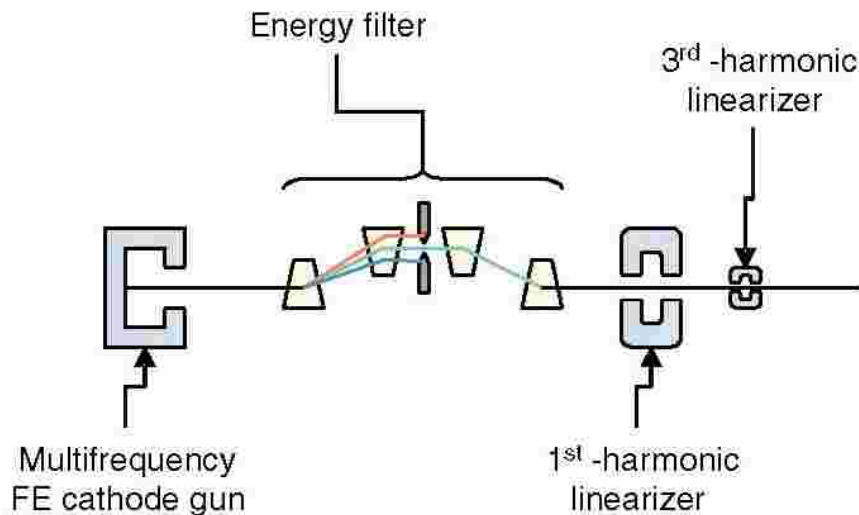


X. Chang et al. Proceedings of 2005 Particle Accelerator Conference

Secondary electron yield for natural diamond, in transmission mode for different electron energies, and primary currents (◆—100 nA, ■—50 nA, ▲—20 nA and ×—10 nA) at room temperature. The electron energies are marked near each set of curves.

Field-emission cathode gating for rf electron guns

PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - ACCELERATORS AND BEAMS 8, 033502 (2005)
J.W. Lewellen and J. Noonan

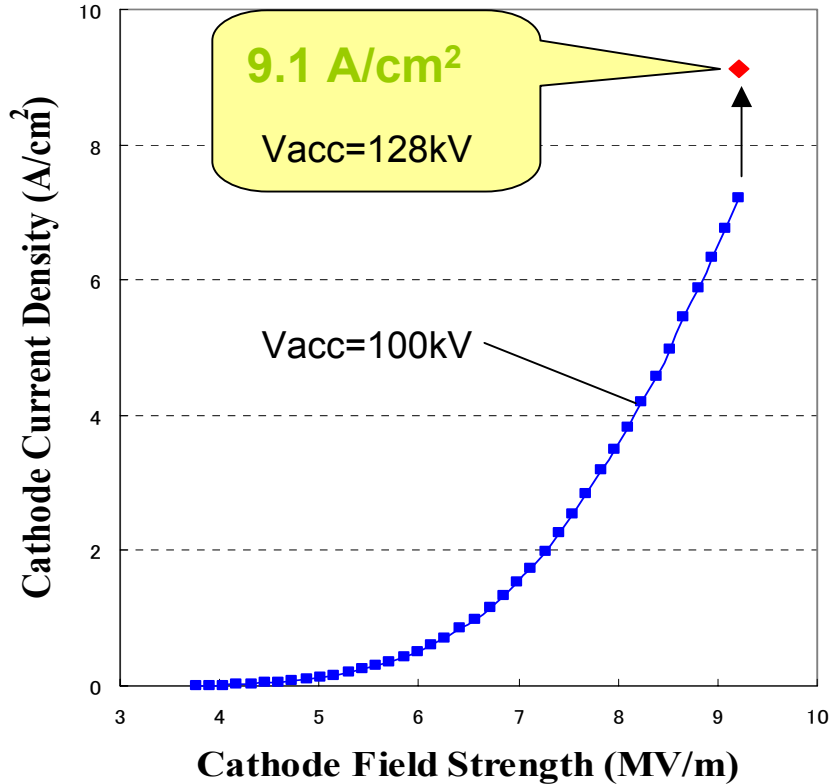


FE cathode emission times during the rf period.
The shaded region indicates the FE emission time.

提案2

Laserを使わないで、CNT陰極を用いたRF gun(2波合成)からバンチしたビーム(100mA)を直接取り出せないだろうか？

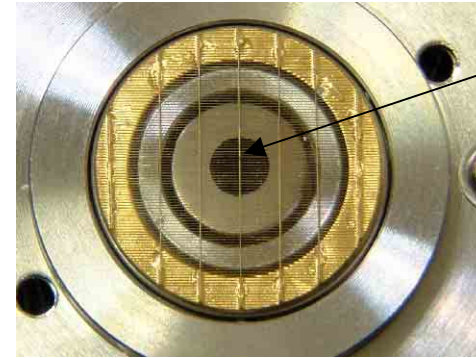
Carbon Nano-tube Electron Gun toward high density and high brightness



I-E characteristics of CNT-gun

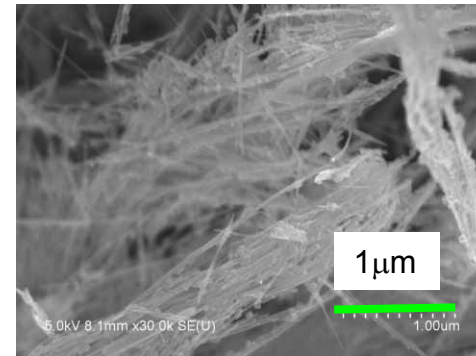
Measured condition

Pulse width = 8 ns, Repetition = 50 pps, Pressure $\cong 2 \times 10^{-6}$ Pa



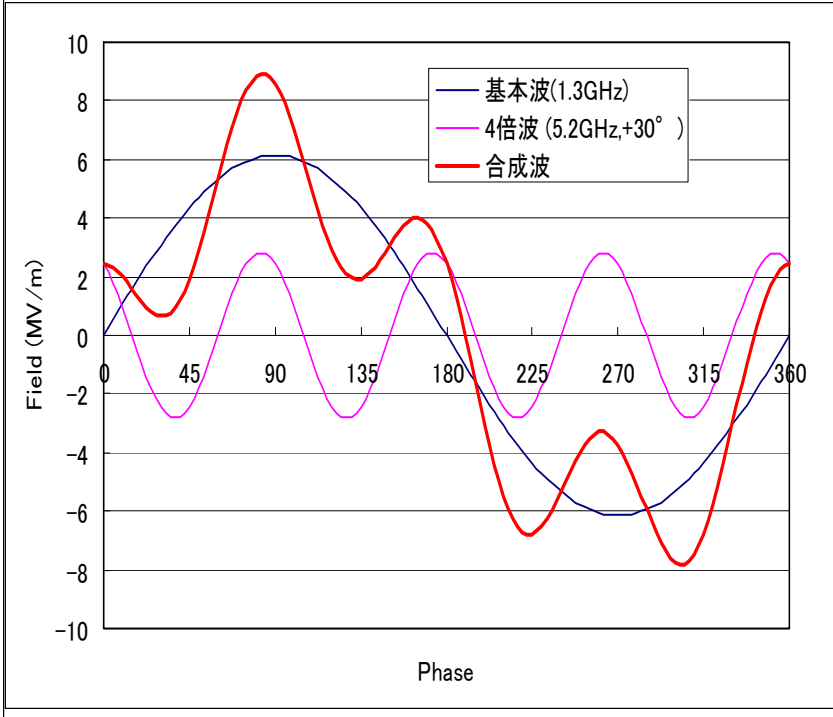
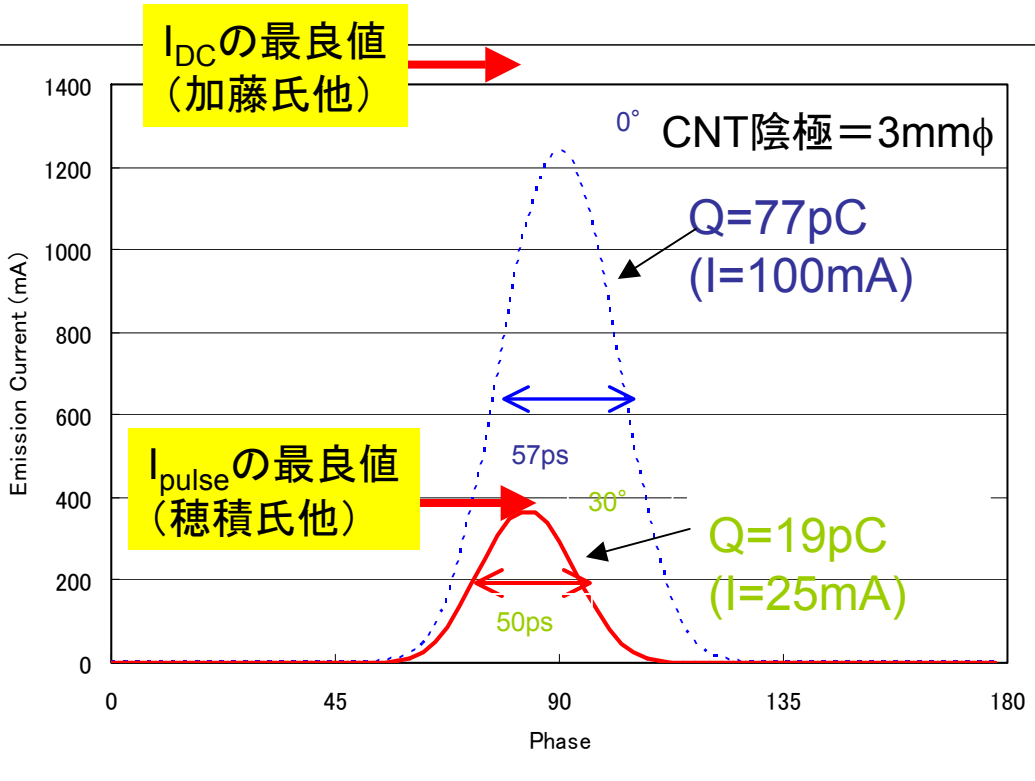
CNT cathode
(3mm ϕ)

Grid-cathode assembly



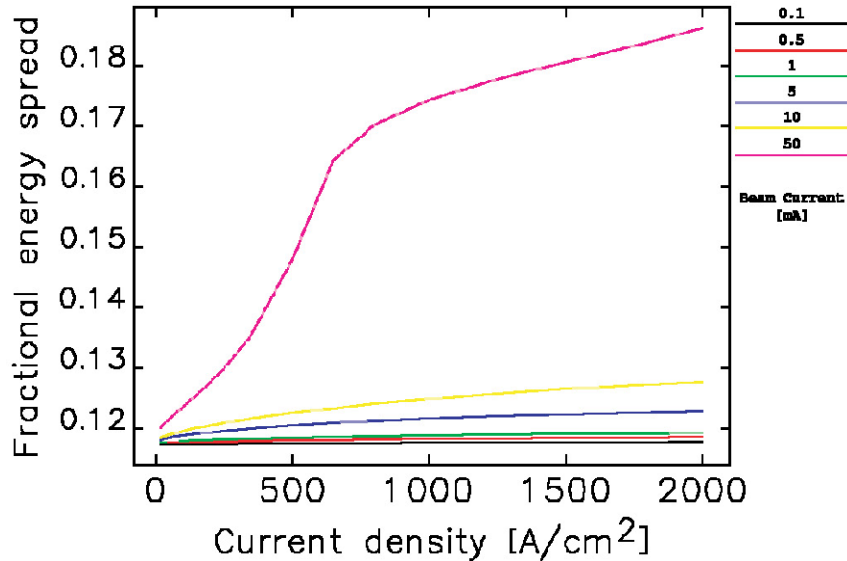
SEM figure of CNT-cathode

基本波と4倍波を合成したRF電界とCNT field emission

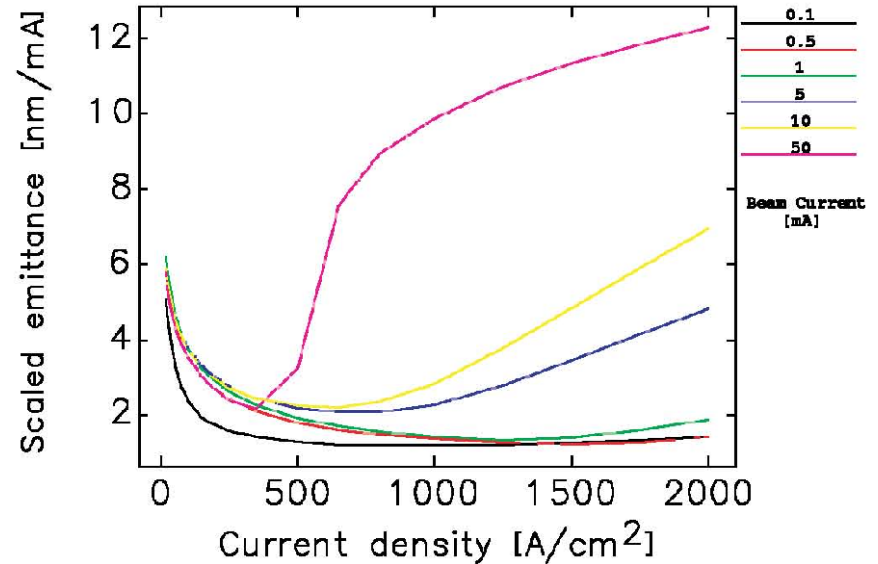


提案2
Laserを使わないで、CNT陰極を用いたRF gun(2波合成)からバンチしたビーム(100mA)を直接取り出せないだろうか？

Field-emission cathode gating for rf electron guns



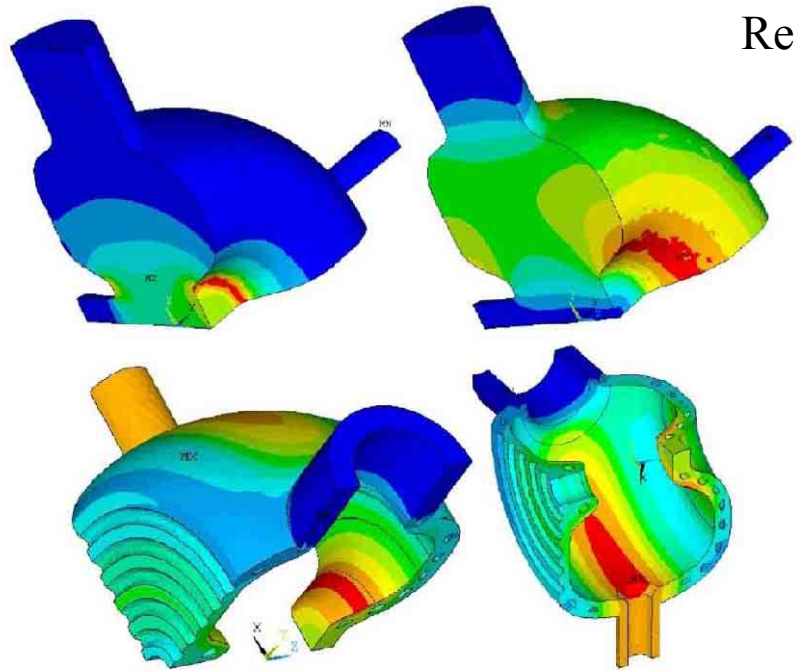
rms fractional energy spread as a function of time-average current density, for various beam currents.



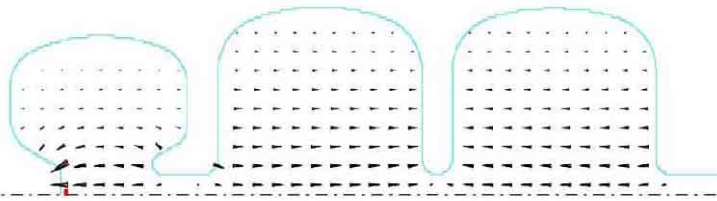
Normalized scaled transverse emittance (e.g., normalized emittance divided by average beam current), as a function of time-average current density, for various beam currents.

Normal conduction Photocathode RF gun

Re-entrant cavity shape of the LUX gun (LBNL).



(a)



(b)

The target cathode field
 64MV/m for 5% duty factor at 1300MHz ,
with an average power of 31kW .

This equates to about 15.5MV/m CW with a
peak surface temperature rise of 67°C .

常電導空洞でもCW
運転が可能か???

Tesla Test Facility (TTF) NCRF gun

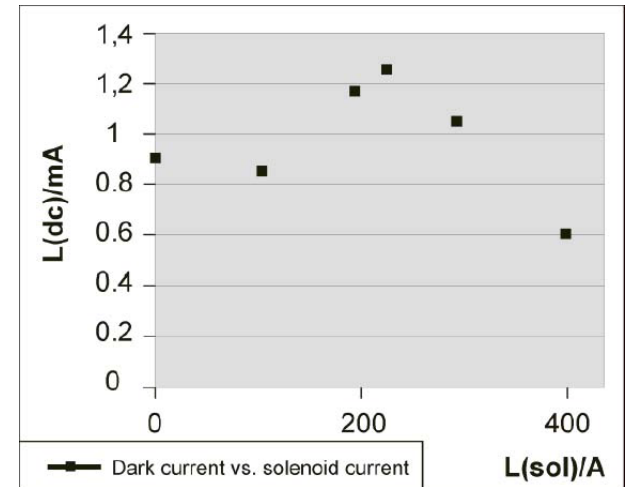
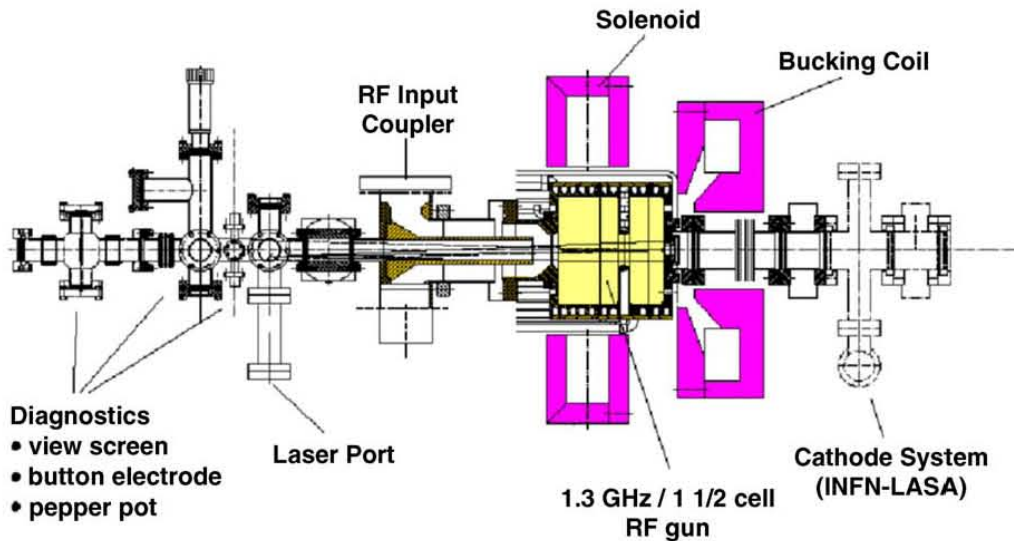


Table 2: Results of rf conditioning in 2004

| Repetition rate | 10 Hz | 5Hz | 10 Hz |
|-------------------|------------|------------|--------|
| rf pulse length | 0.5 ms | 1.3 ms | 1.0 ms |
| peak power at gun | 4 MW | 4 MW | 3 MW |
| mean power | 20 kW | 26 kW | 30 kW |
| duty cycle | 0.5% | 0.65 % | 1% |
| max momentum | 5.17 MeV/c | 5.17 MeV/c | . |

Dark current vs. current of main solenoid for 4MW input power for the current PITZ gun (prototype #1)