

# まとめにかえて

## 低エネルギー衝突実験は精密化の時代へ

北沢正清

参考文献:

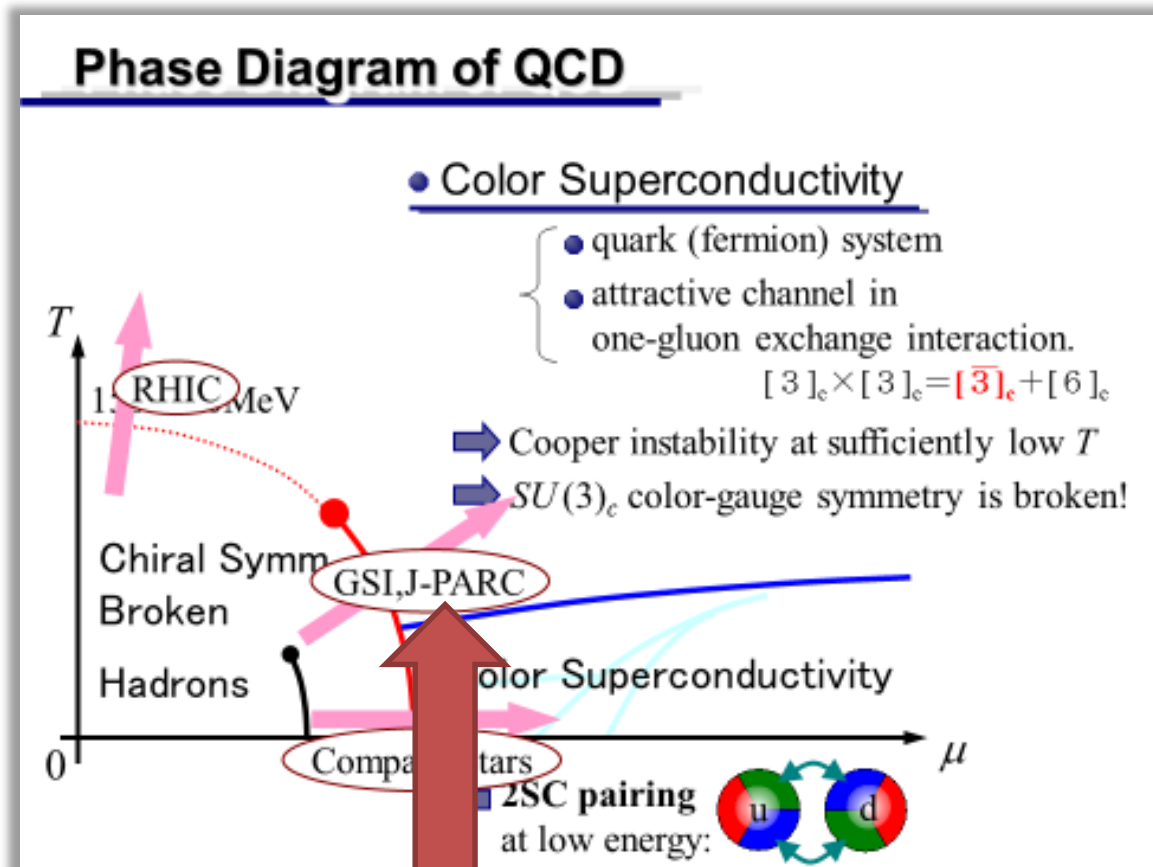
STAR-BES White paper



# ちょっと自分語り

# ちょっと自分語り

北沢D論公聴会スライドより



当時北沢は、カラー超伝導(ダイクォーク相関)を実験的に測定する可能性を研究していた...

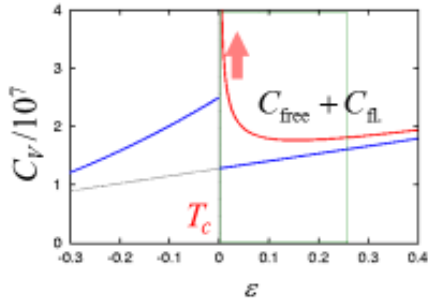
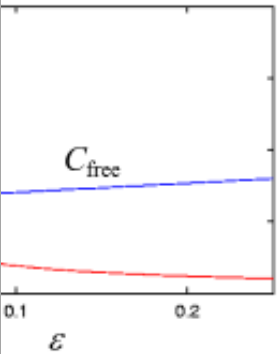
J-PARC

# ちょっと自分語り

## 当時考察した“観測量”

### Final Result

$$C_{fl.} \begin{cases} C_{free} = -Td^2\Omega_{free} / dT^2 \\ C_{fl.} = -Td^2\Omega_{fl.} / dT^2 \end{cases}$$



— free (BCS approx.)  
— from collective mode

of  $c_V \sim \epsilon^{-1/2}$  above  $T_c$ .  
The divergence of  $c_V$  at  $T_c$  is clearly seen from  $\epsilon \sim 0.1$  ( $T \sim 1.1T_c$ ).

- 比熱
- 擬ギャップ
- 電気電導度

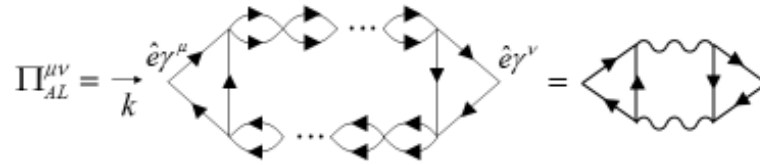
## Electric Conductivity

### • Kubo Formula

$$\sigma = -\lim_{\omega \rightarrow 0} (1/\omega) \text{Im} K^{Rii}(k=0, \omega)$$

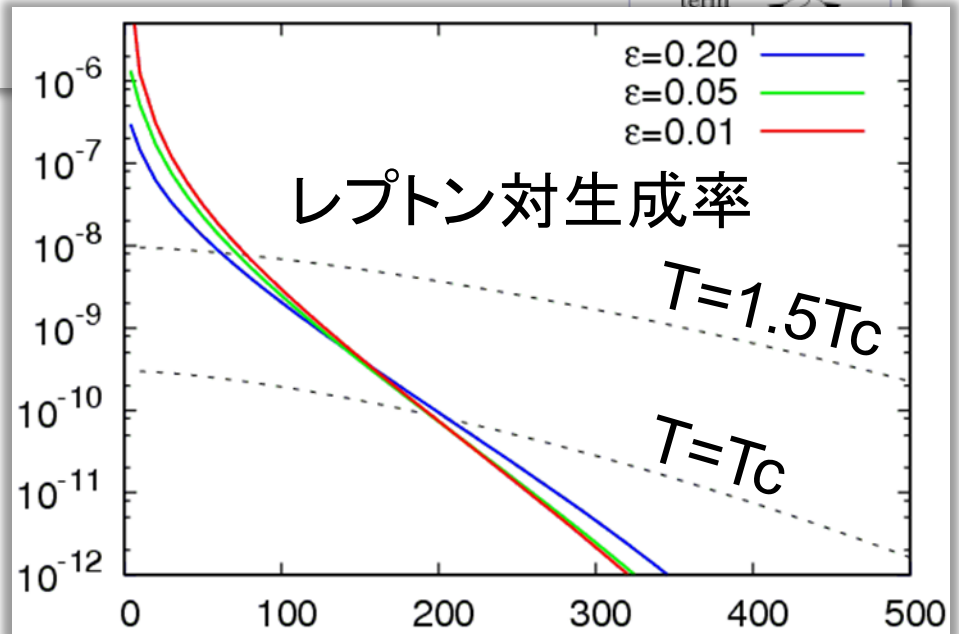
$$K(Q) = \int dx e^{iQx} \langle [j(x), j(0)] \rangle \mathcal{G}(t) = \Pi^R(Q)$$

### • Aslamasov-Larkin term



$$\Pi_{AL}^{\mu\nu} = \dots = 3 \int d^4q \Gamma^\mu(q, q+k) \Xi(q+k) \Gamma^\nu(q+k, q) \Xi(q)$$

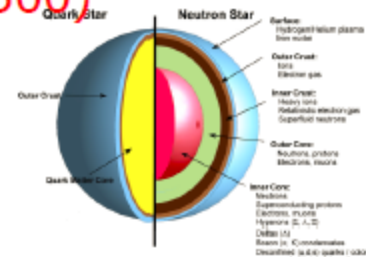
cf) Maki-Thompson term



# CBM physics case and observables

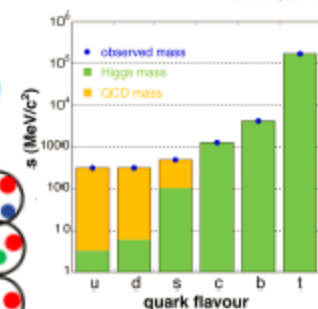
The equation-of-state at neutron star core densities (SIS100/300)

- collective flow of hadrons
- particle production at threshold energies (multi-strange hyperons)

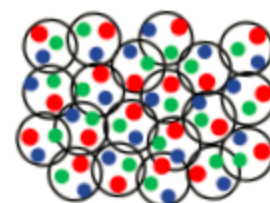


Onset of chiral symmetry restoration at high  $\rho_B$  (SIS100/300)

- in-medium modifications of hadrons ( $\rho, \omega, \phi \rightarrow e^+e^-(\mu^+\mu^-)$ )



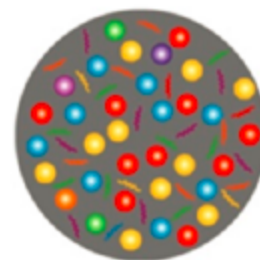
New phases of strongly-interacting matter (SIS100)



- excitation function and flow of lepton pairs
- excitation function and flow of strangeness ( $K, \Lambda, \Sigma, \Xi, \Omega$ )

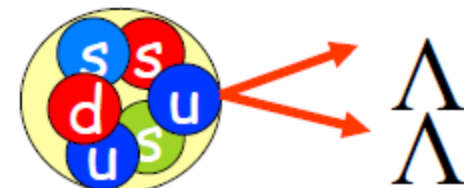
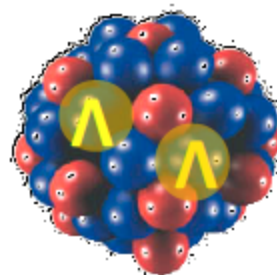
Deconfinement phase transition at high  $\rho_B$  (SIS300)

- excitation function and flow of charm ( $J/\psi, \psi', D^0, D^\pm, \Lambda_c$ )
- anomalous charmonium suppression



Strange matter (SIS100/300)

- (double-) lambda hypernuclei
- strange meta-stable objects (e.g. strange dibaryons)



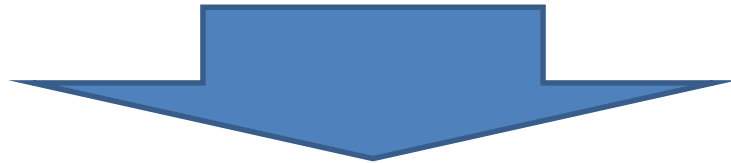
Courtesy of Peter Senger

# 低エネルギー衝突の統一的理解に向けて

- 低エネルギー衝突をよく記述する現象論的モデルがない。

# 低エネルギー衝突の統一的理解に向けて

- 低エネルギー衝突をよく記述する現象論的モデルの議論が進んでいない。
- モデルを拘束できる実験データも不足していた。
- みんなRHICに行ってしまった。



RHIC-BES II、J-PARCにより、状況が変わる

# BES II @ RHIC

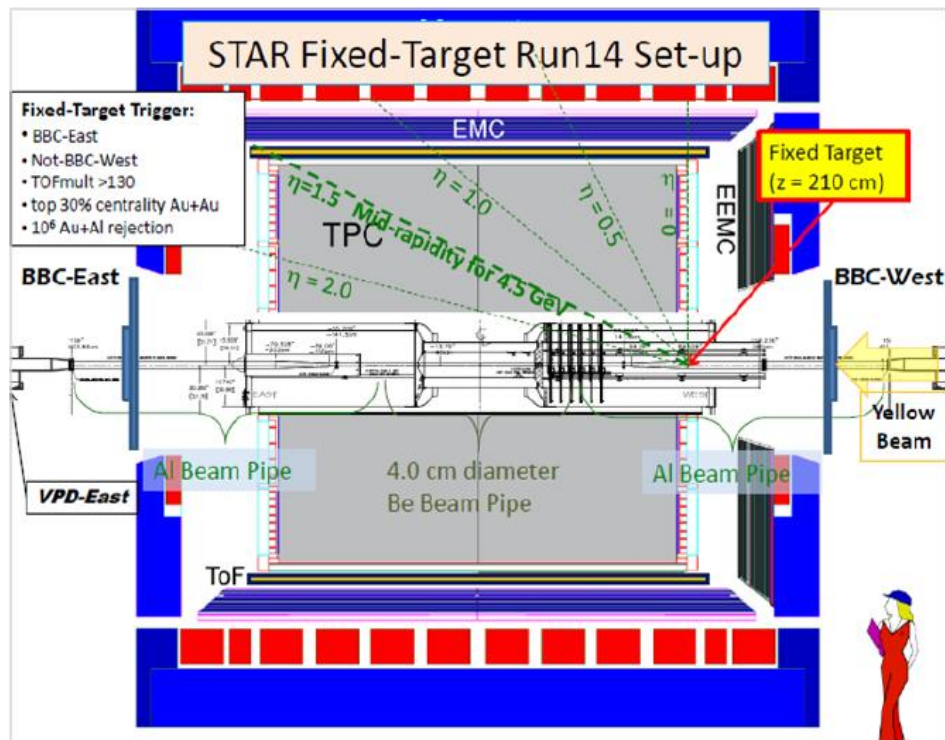


**Table 2.** Event statistics (in millions) needed for Beam Energy Scan Phase-II for various observables.

Collision Energy (GeV)	7.7	9.1	11.5	14.5	19.6
$\mu_B$ (MeV) in 0-5% central collisions	420	370	315	260	205
<b>Observables</b>					
$R_{CP}$ up to $p_T = 5$ GeV/c	–		160	125	92
Elliptic Flow ( $\phi$ mesons)	100	150	200	200	400
Chiral Magnetic Effect	50	50	50	50	50
Directed Flow (protons)	50	75	100	100	200
Azimuthal Femtoscopy (protons)	35	40	50	65	80
Net-Proton Kurtosis	80	100	120	200	400
Dileptons	100	160	230	300	400
<b>Required Number of Events</b>	<b>100</b>	<b>160</b>	<b>230</b>	<b>300</b>	<b>400</b>
	4	-	12	20	36



# Fixed Target Exp. @ STAR



$\sqrt{s}$

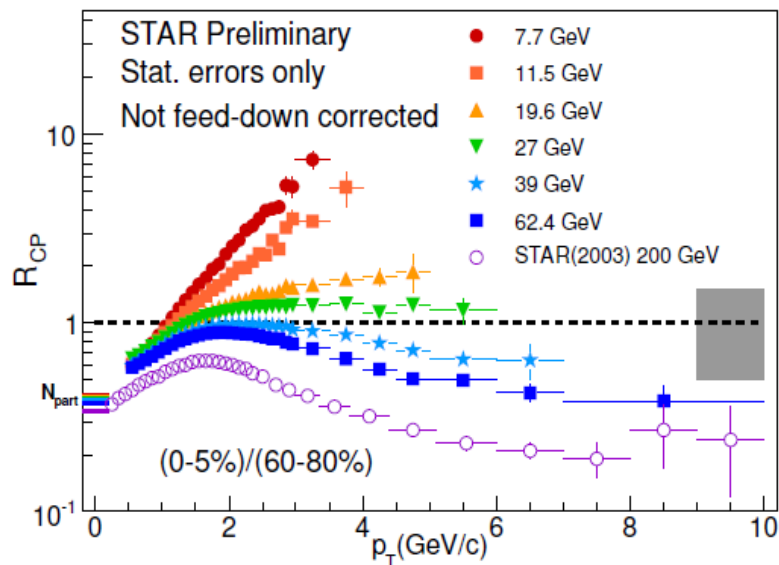
collider	7.7	9.1	11.5	14.5	19.6
Fixed target	3.0	3.2	3.5	3.9	4.5

[GeV]

J-PARCは統計量 $\sim 10^{11}$

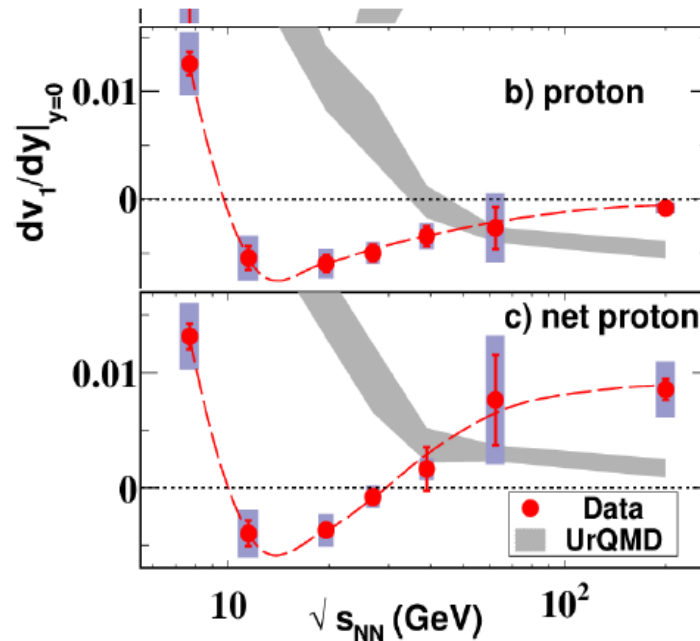
# 理解されていない観測量

$$R_{CP}$$



- Cronin effect?
- radial flow?
- jet quenching

$$dv_1/dy$$

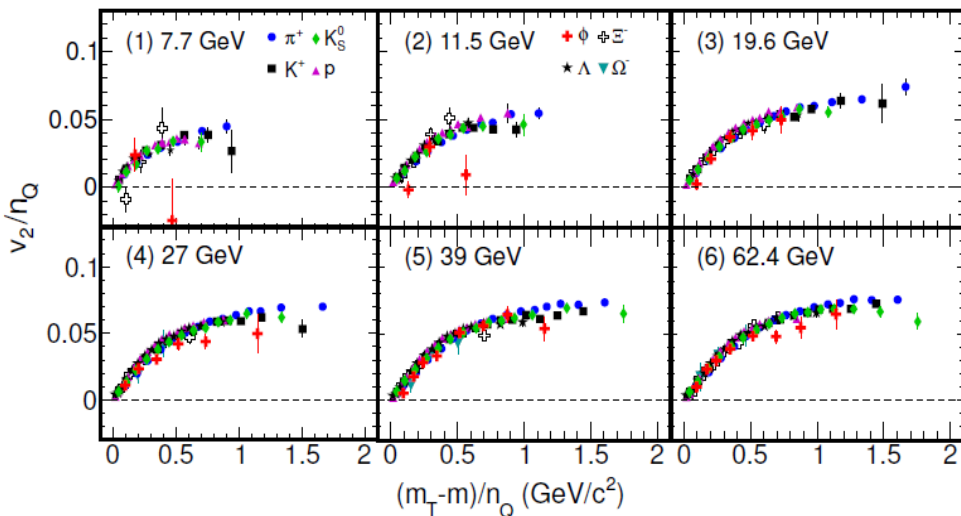


- softening of EOS?
- change of collision picture?

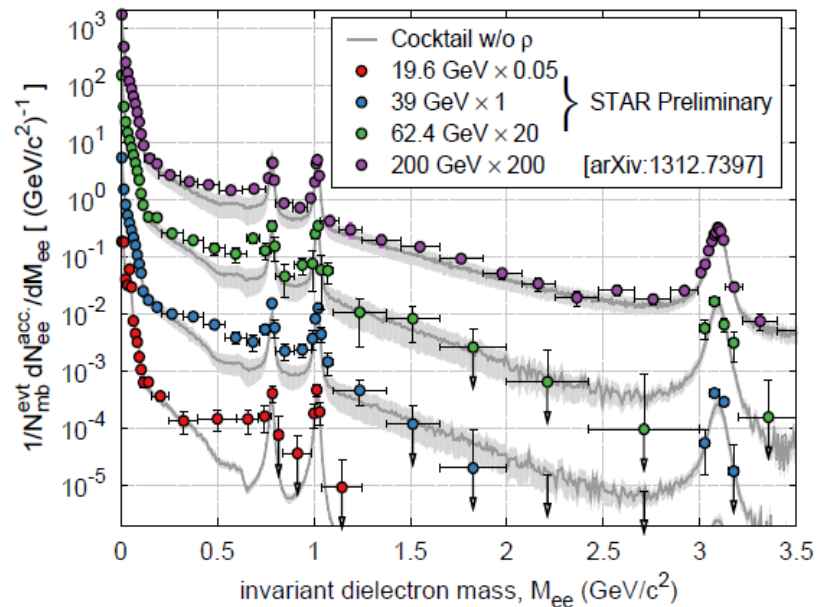
# 高統計化が期待される観測量

## Elliptic Flow

0-80% Au+Au Collisions at RHIC



## dilepton production

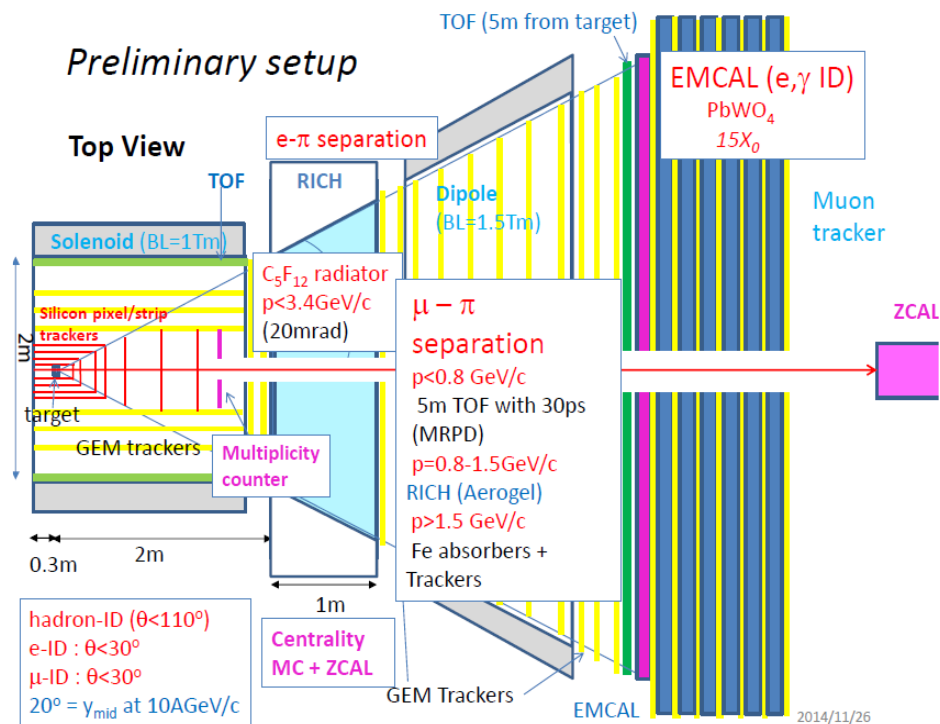


- QNSの破れはどこで起こる？
- ストレンジ自由度の分離？

低エネルギー・高不変質量？

中心度依存性は？

# J-PARC

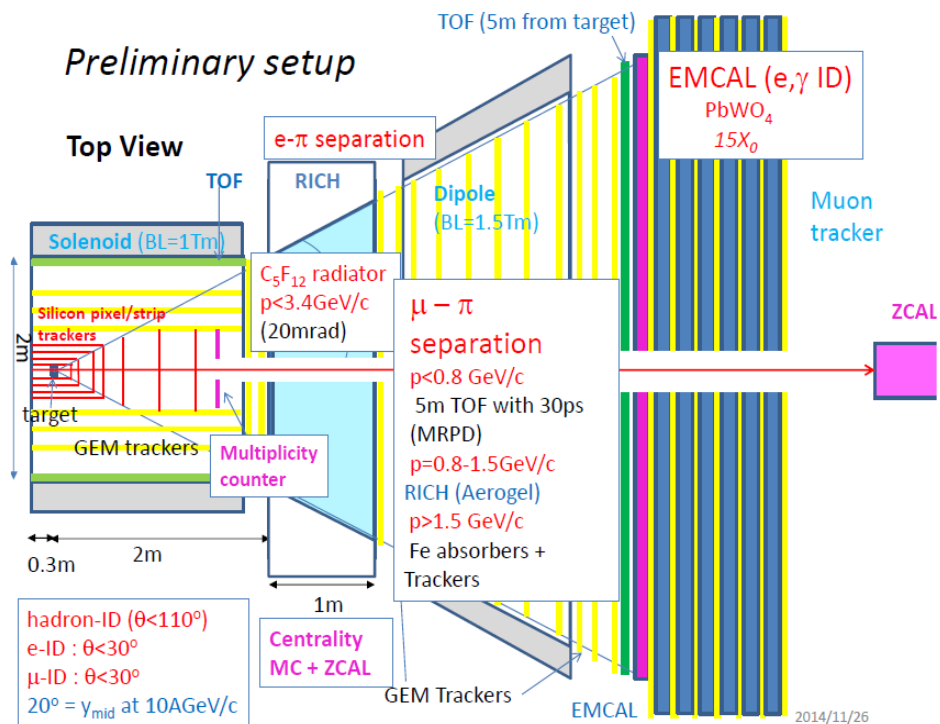


J-PARCは、衝突で生成された全荷電粒子を(原理的に)観測



全粒子が捕捉できる熱力学系

# J-PARC



ビーム強度はオーバースペック



高いイベントセレクションが可能

# まとめのまとめ

- 低エネルギー衝突は、精密化の時代へ
- 高統計データにより、高バリオン数密度物質を定量的に理解していくことが可能となるであろう。
- 低エネルギー衝突のbaselineとなる現象論的モデルを解析する必要性
  - 各種モデルの適用限界の解析:カスケード模型、流体模型の外挿
- 物理量の多角的な理解
  - 各種物理量の中心度依存性、RCP、dileptonのpT依存性
  - ゆらぎ→ラピディティ幅依存性
  - 多粒子相関・イベントバイイベント解析