



# 2-turn ERL の検討

羽島

ERLビームダイナミクスWG

2008年6月10日



# デザイン検討会での指摘事項

- 運転モード毎のパラメータ整合性
  - 200 MeV運転の意義
    - ERL-07の議論
    - 空間電荷効果(宮島)
    - 主加速後のエミッタンス保存?
    - バンチ圧縮?
  - 2-turnの可能性
  - SCAモジュールの収容数
  - 最適なバンチ長 (コンパクトERではあいまいでよい 1-3ps )
    - 放射光:短い方がよい(エネルギー広がり)
    - 空洞:長い方がよい
  - ベローズのRFシールド
    - 超伝導グループに相談、時間かかる。
    - まずは、必要かどうかを確認
    - シールドが3次元構造、隙間からの漏れ、上流からの影響
- X線光源の仕様と関係



# デザイン検討会での指摘事項

- 周長の可変範囲 X線光源の仕様と関係
  - 原田さんに資料を送った。(空洞のスタディに必要か？ダンプの検討も必要。)
- ビームダンプのアクセプタンス
  - シミュレーション(白神)
- 入射SCAとソレノイドの距離を伸ばす
  - クライオモジュールで制限、計算してみる(宮島)
- 空洞設置誤差の許容値
  - シミュレーション(elegant codeを調べる)、ILCより大きな許容値？
  - エミッタンス増大のメカニズムは複数ある
  - モジュール内の誤差は修正できない？



## 2-turn ERL の利点・欠点

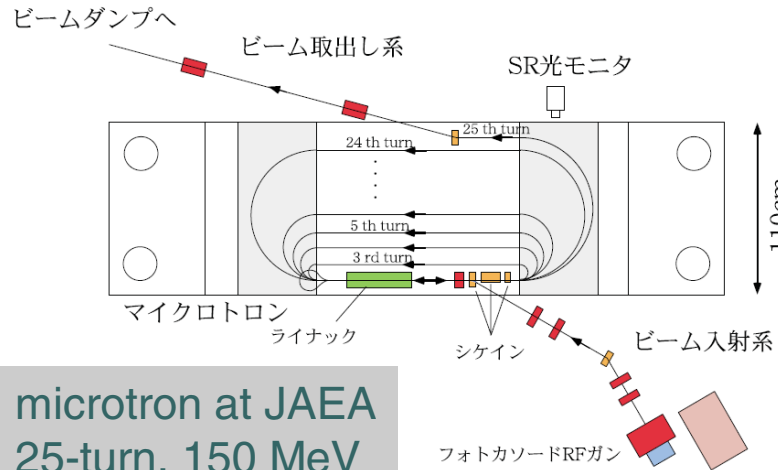
### ○ 利点

- リニアック、冷凍機が半分 → 建設・運転費用削減
- 敷地面積が小さくてよい
- 1<sup>st</sup>-loop を挟んで2回加速 → 加速位相、R56の自由度が増える

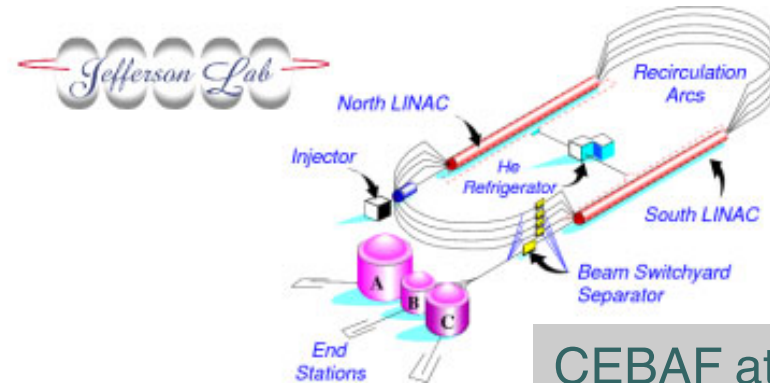
### ○ 欠点

- リニアックを通る電流が2倍
- 1<sup>st</sup>-loop (3<sup>rd</sup>-loop)を通る電流が2倍
- 1<sup>st</sup>-loop におけるビーム質の劣化
- 制御が困難になる可能性

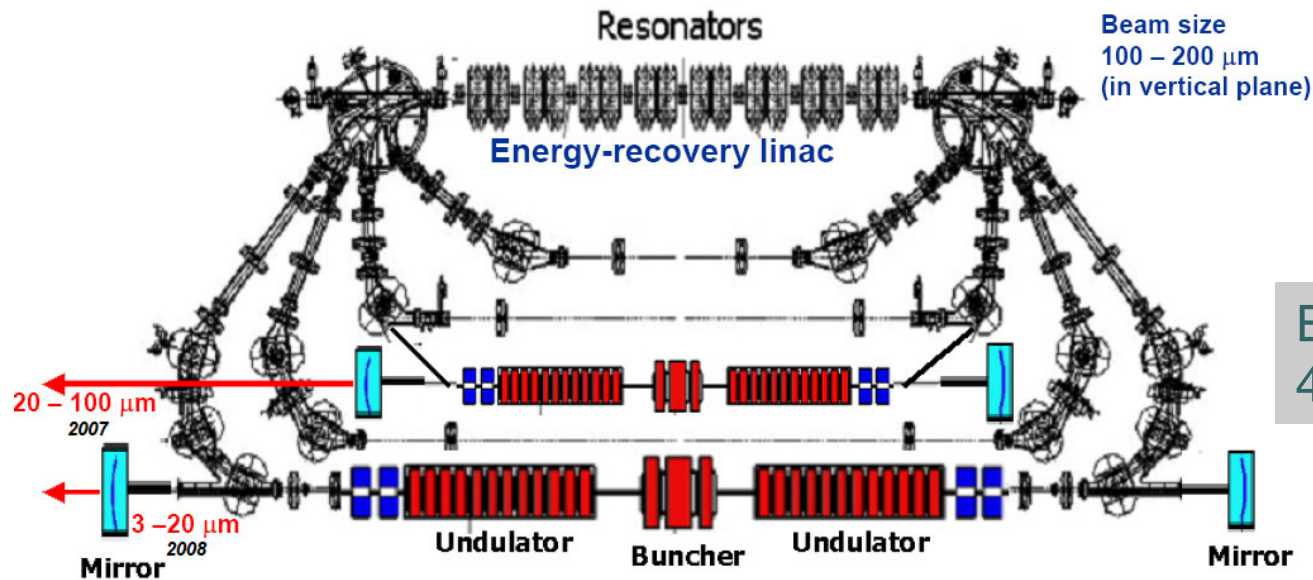
# multi-turn accelerators



microtron at JAEA  
25-turn, 150 MeV



CEBAF at JLAB  
4.5-turn, 6 GeV



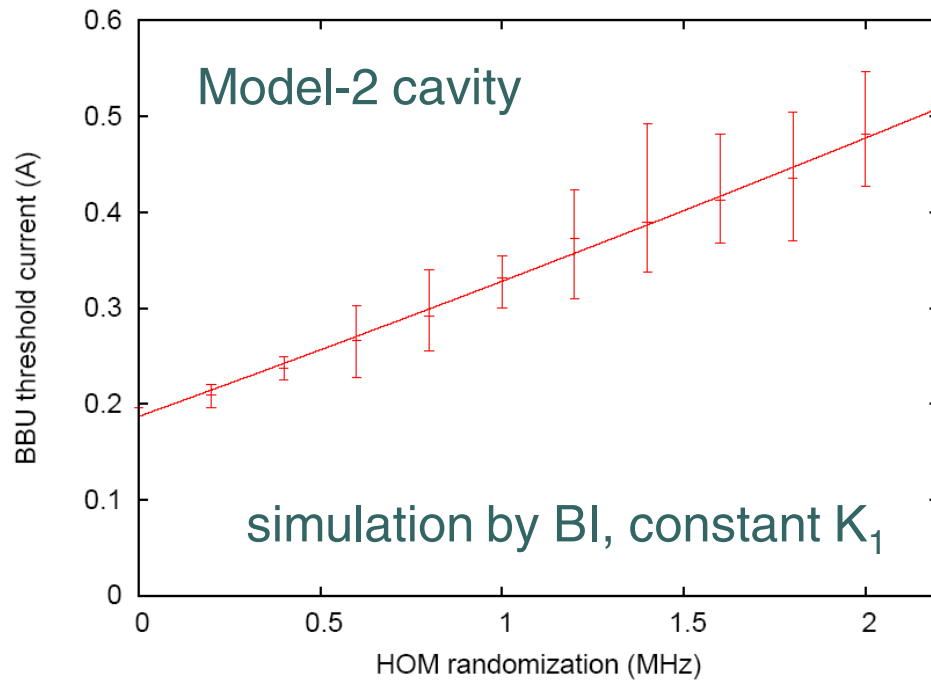
ERL-FEL at BINP  
4-turn, ~50 MeV



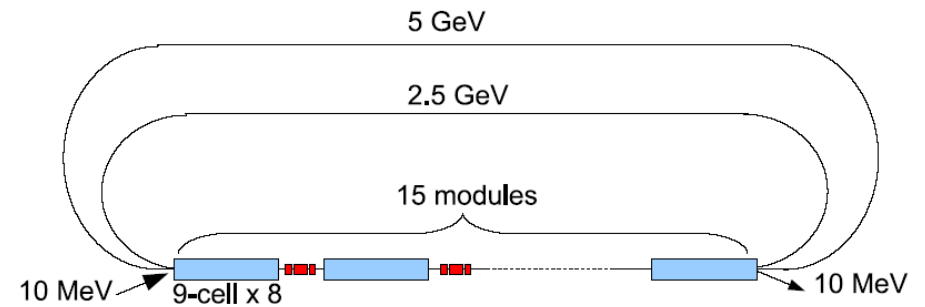
## ビームダイナミクスの検討課題

- HOM-BBU
  - シミュレーションによる閾値電流の評価
- エミッタンス増大
  - シンクロトロン放射光(量子励起) → 放射積分による評価
  - CSR → 位相進み最適化、シミュレーションで評価
- エネルギー広がり増大
  - シンクロトロン放射光、CSR

# HOM-BBU for a 2-turn ERL



R. Hajima, ERL-07.



$$E_{\text{acc}} = 20\text{MV/m}$$
$$f_{\text{bunch}} = 650\text{MHz}$$

9-cell x 8-cavity x 15-module

1<sup>st</sup>-loop = 619.994m (2688.5 RF)

2<sup>nd</sup>-loop = 1020.1015m (4423.5 RF)

$$K_1 = 2.3 \text{ (m}^{-2}\text{)}$$

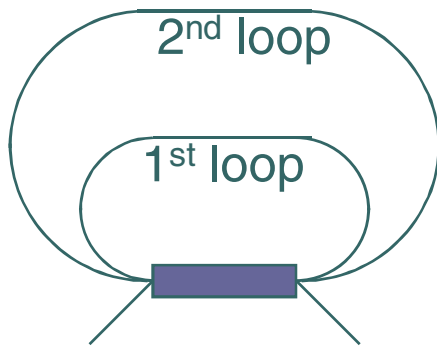
$$\Psi_x \text{ (1}^{\text{st}}\text{-loop)} = 0$$

$$\Psi_x \text{ (2}^{\text{nd}}\text{-loop)} = 122 \text{ deg.}$$

6 x 2 HOMs

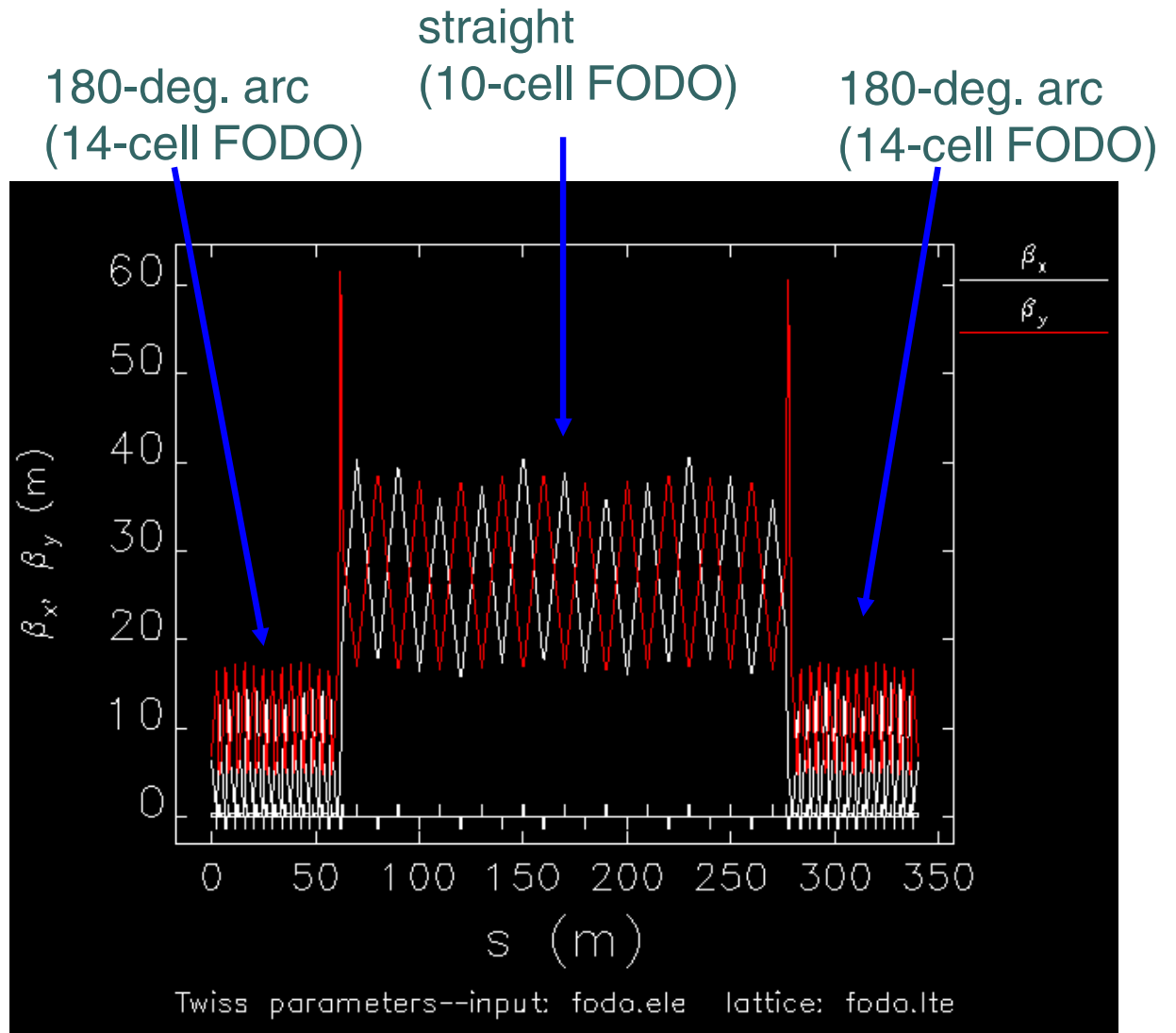


# Example: a FODO lattice for the 1<sup>st</sup>-loop



1<sup>st</sup>-loop:  
 $\rho=8.66\text{m}$ , 2x14-cell FODO

phase advance  
 $\Psi_x = 12 \pi / 14\text{cell}$   
(for compensation of  
the CSR effect)

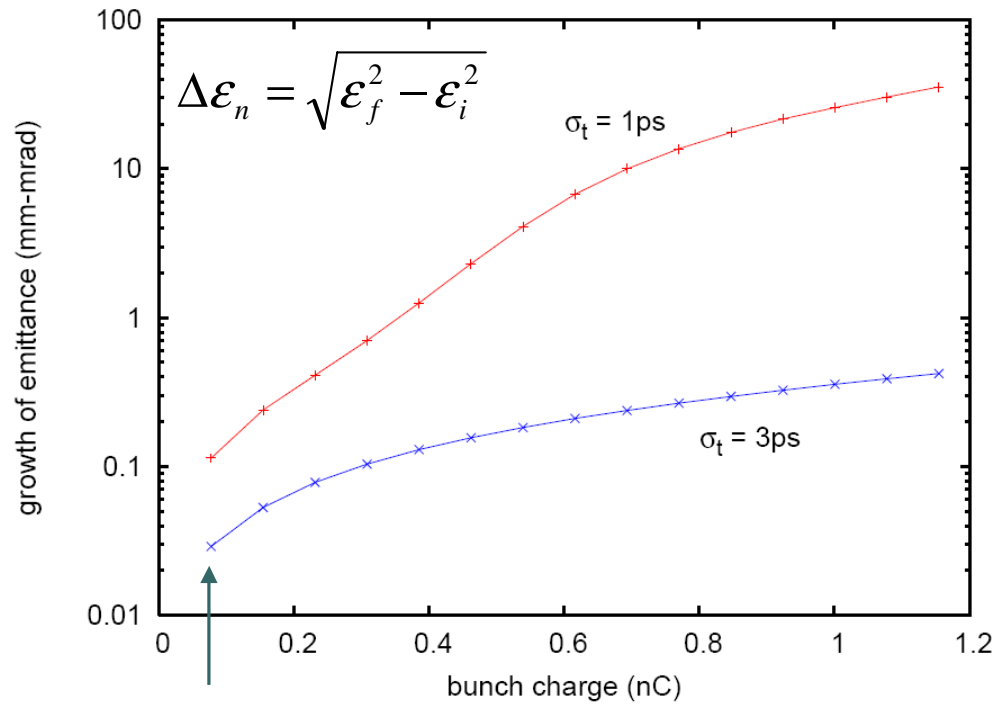




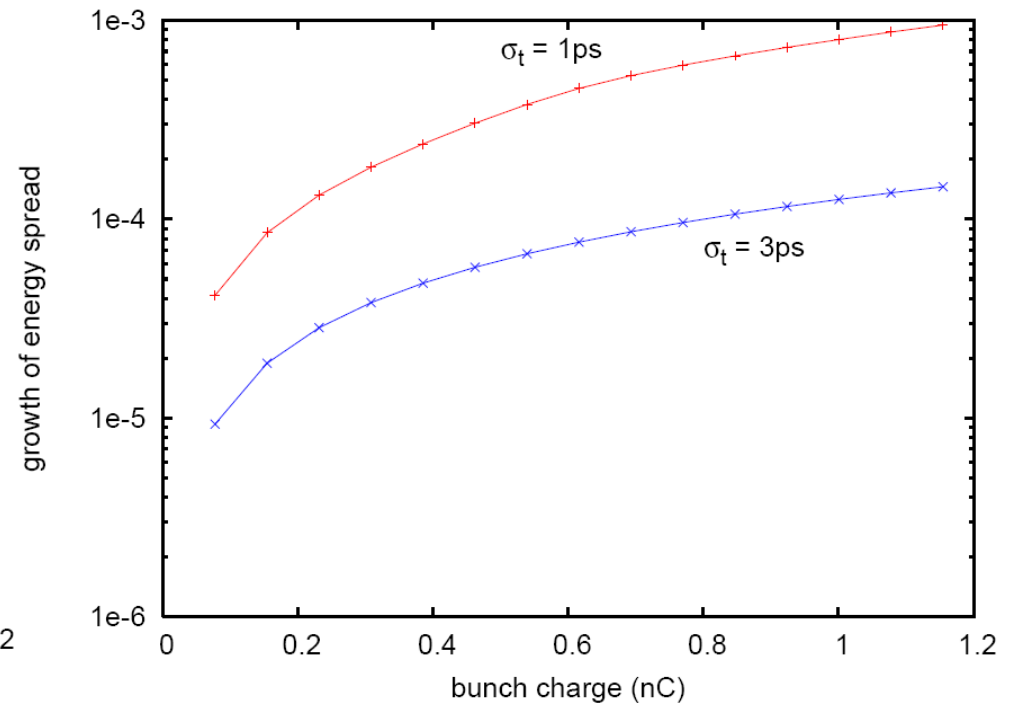


# CSR effects in the 1<sup>st</sup> loop

simulations by elegant



77 pC



# synchrotron radiation effects

$$\Delta \varepsilon_x = \frac{2r_e}{3} C_q \gamma^3 (\gamma^2 I_5 + I_{\beta x})$$

第1項:  $\eta_x \neq 0$  の位置で運動量が変わる効果  
第2項: 角度分布を持つ放射の反兆効果  
→ GeV領域では、第1項が支配的

$$I_5 = \oint \frac{H}{|\rho|^3} ds \quad H = (\gamma\eta^2 + 2\alpha\eta\eta' + \beta\eta'^2)$$

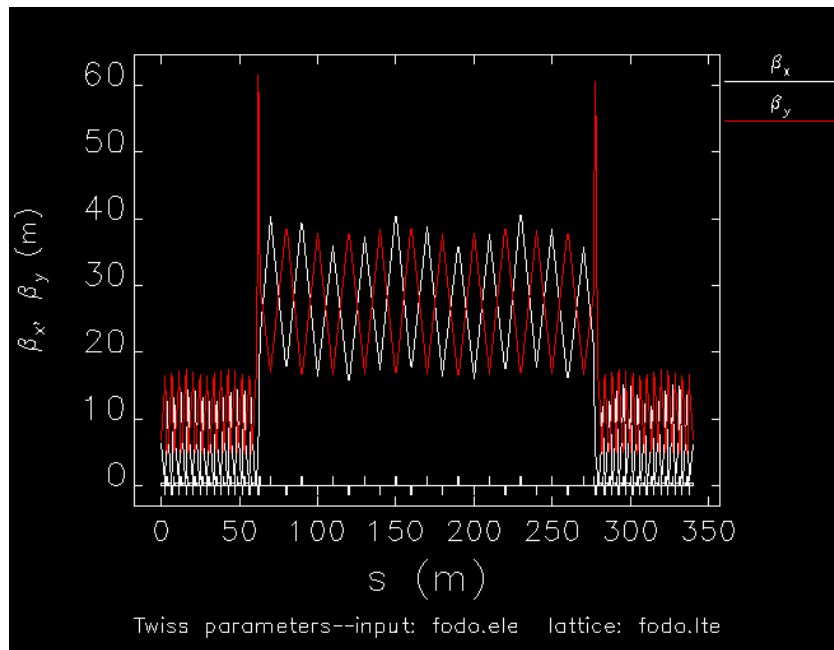
$$C_q = \frac{55}{32\sqrt{3}} \frac{\hbar}{mc} = 3.84 \times 10^{-13} (m)$$

$$\Delta \left( \frac{\sigma_p}{p} \right)^2 = \frac{2r_e}{3} C_q \gamma^5 I_3 \quad I_3 = \oint \frac{1}{|\rho|^3} ds$$

放射積分  $I_5$ ,  $I_3$  の値は、周回軌道のラティス(とエンベロップ)で決まる。

# SR effects in the example FODO loop

1<sup>st</sup>-loop:  $\rho=8.66\text{m}$ , 2x14-cell FODO  
 $E=2.5\text{ GeV}$



$$I_5 = 2.8 \times 10^{-3} (m^{-1})$$

$$\Delta \varepsilon_x = \frac{2r_e}{3} C_q \gamma^5 I_5 = 6 \times 10^{-12} (m)$$

$$I_3 = 8.4 \times 10^{-2} (m^{-2})$$

$$\Delta \left( \frac{\sigma_p}{p} \right)^2 = \frac{2r_e}{3} C_q \gamma^5 I_3 = 1.9 \times 10^{-10}$$

elegant で tracking すると

$$\varepsilon_x: 20 \text{ pm} \rightarrow 26 \text{ pm}$$

$$\varepsilon_n: 0.1 \text{ mm-mrad} \rightarrow 0.13 \text{ mm-mrad}$$

$$(\sigma_p/p)^2: 9.0 \times 10^{-10} \rightarrow 12.6 \times 10^{-10}$$



## まとめ

- 2-turn ERL の例として 2x14-cell FODO arc
- HOM-BBU→おそらく大丈夫 (HOMダンパーの問題は別として)
- CSR、SRによるエミッタンス増大、エネルギー広がりを評価
- 1<sup>st</sup>-loop におけるSR効果の低減は、通常の高エミッタンス・リングの設計を援用できる
- 0.1 mm-mrad を保持するには、設計の余裕は大きくないと思われる
- 1<sup>st</sup>-loop には挿入光源を入れないとしてcombined magnet の構成も可であろう