

『大強度リニアック設計に関する
インフォーマル・ミーティング』

日 時 昭和61年9月1日(月)
午後7時-10時

場 所 研究本館会議室
(情報資料室入口右側)

大型ハドロン計画の1 GeV陽子リニアックに
関するものです。御関心のある方はふるって
御参加下さい。

大型ハドロン計画推進作業部会
加速器ファシリティグループ
木原・福本

- | | | |
|-----------------------------|-----|-------|
| 1. 大型ハドロン計画と1 GeV陽子リニアック | KEK | 福本 |
| 2. H ⁻ イオン源のレビュー | KEK | 森(義) |
| 3. 京大陽子リニアックの現状 | 京大 | 井上(信) |
| 4. 高ベータ加速構造について | | |
| 一般的考察 | KEK | 加藤(隆) |
| 単胞空洞 | KEK | 町田 |

| | 40 MeV linac | ハドロン | トリスタン |
|-------------------|---------------|--------------|--------|
| rf length | 275 μ sec | 600 | |
| repetition | 20 | 100 | |
| duty | 0.55 % | 6 % | 100 % |
| 電場 | 2.1 MV/m | 2 3 4 5 | 1 MV/m |
| $E^2 \times$ duty | 2.43 | 24 54 96 150 | 100 |
| beam length | 40 μ sec | 400 | |
| peak 電流 | 10 mA | 20 | |
| 平均電流 | 8 μ A | 800 | |

リニアックの中の beam loss --- 1% 以下

- > E_0, ϕ_0
- > 安定性を乱さない
- > 対称性を保つ

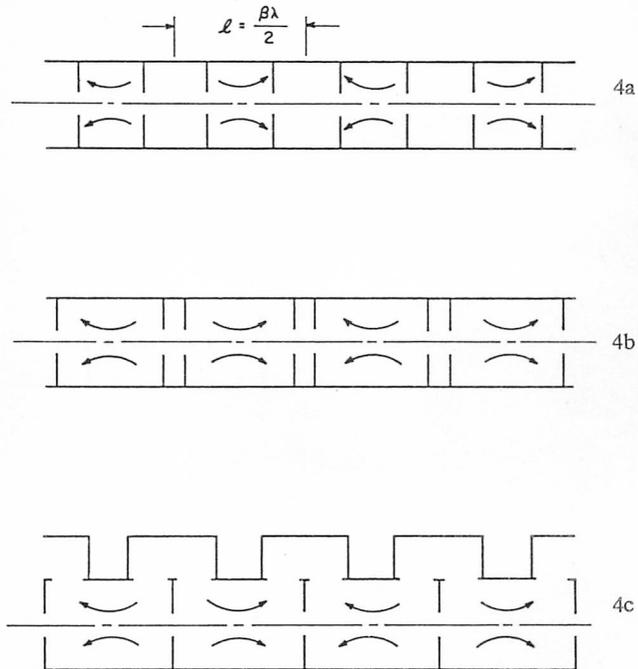


Fig. 4. $\frac{1}{4}\pi$ -mode operation of a resonant cavity chain.

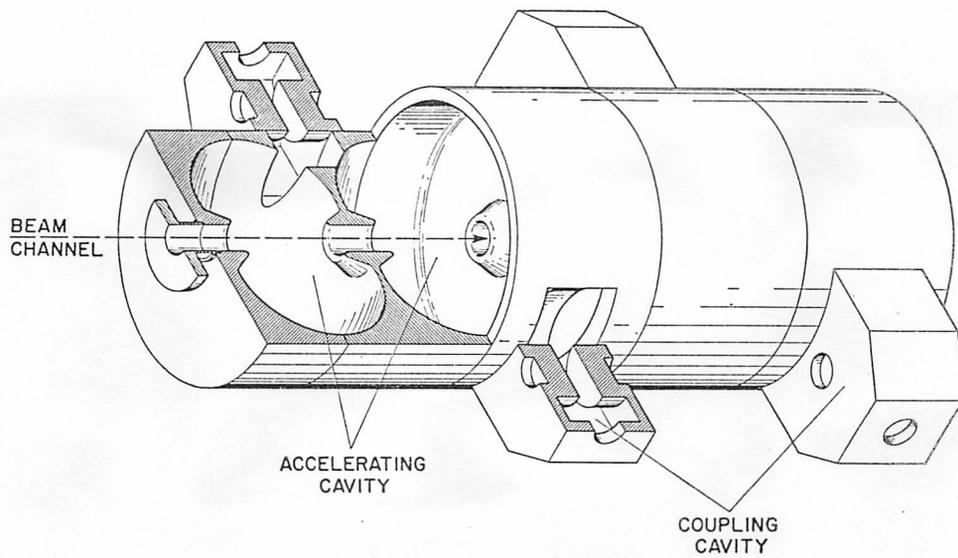


Fig. 5. The side-coupled cavity chain. The accelerating cavities are shaped for maximum shunt impedance, and the coupling cavities are staggered to reduce asymmetries introduced by the slots.

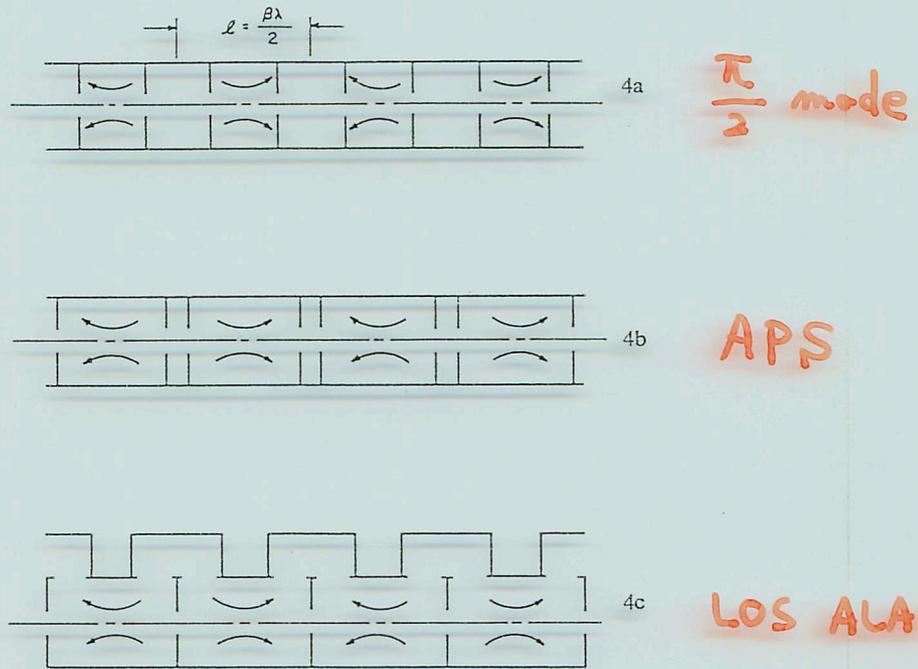


Fig. 4. $\frac{1}{2}\pi$ -mode operation of a resonant cavity chain.

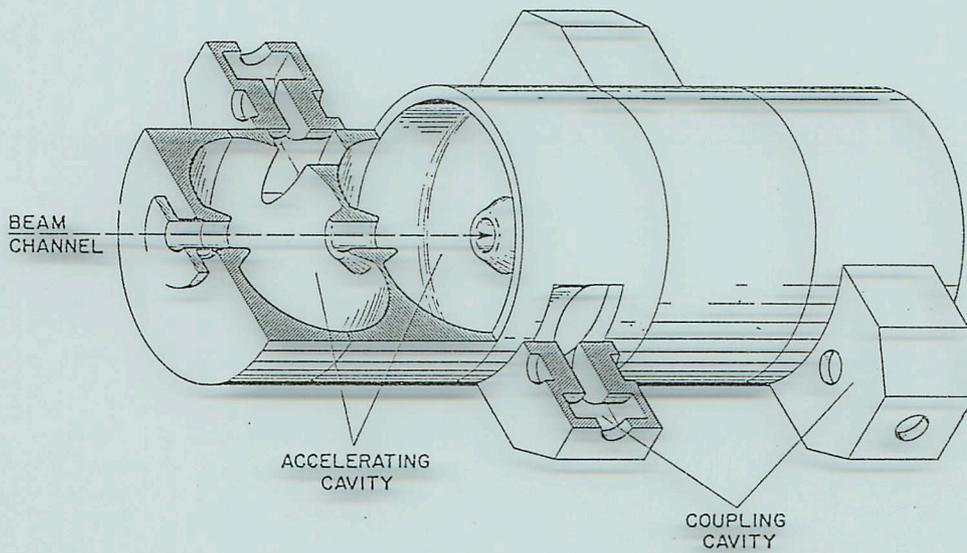


Fig. 5. The side-coupled cavity chain. The accelerating cavities are shaped for maximum shunt impedance, and the coupling cavities are staggered to reduce asymmetries introduced by the slots.

1 GeV リニアックを考えるにあたり、なにを重要と考えれば良いのだろうか。直接にはいかなる周波数を選び、どのような structure を選ぶかであるが、実は、何を考えて選択するか、更に何を考えずに選択の決断をするか、即ち、選択の基準に何を選択し、またはしなかったかが重要であろう。事実がそうであったかは知る由もないが、思い起こすべきは、先輩たる Los Alamos 800 MeV linac 建設の時の膨大なレポートにみられる科学的合理的創造的な姿勢であって、設計、製作、運転、保守等諸々に対して、科学計算と実験事実に基づいて誠実な判断をくだしている。付けを将来に残す事が無いように数多くの御批判に期待したい。

話を進めるにあたり、以下のモデルを設定してみる。

- 1) 構成 ion source + RFQ + DTL + CCL
- | | | | |
|-----|---------|--------------|---------|
| RFQ | 50 keV | ---> 2 MeV | 200 MHz |
| DTL | 2 MeV | ---> 150 MeV | 200 MHz |
| CCL | 150 MeV | ---> 1 GeV | 600 MHz |

RFQ = radio frequency quadrupole linac

DTL = drift tube linac = Alvarez linac

CCL = coupled cavity linac

上の区分は単なる一例にすぎないが、この様にエネルギーに従って加速管の構造と周波数を変えなければ効率の良いリニアックは出来ない事は確かである。

2) Criterion for optimized design

以下の指針を書き下すことはたやすく出来るが、各々の項目を真面目に追求する事は難しい。しかし万人が納得出来る様な説得力を持つ解答を得たいものであるが、そのためには、都合の良いことは勿論、都合の悪い事まで批判にさらす勇気と誠実さが求められる。

1. almost no beam loss at the high energy part
2. low cost of construction (structure and rf)
3. low cost of operation
4. reliability of operation

2.と3.は加速管と高周波電源の選択と cost optimization に依存する。
1.は beam dynamics design の予測する許容誤差に従って製作された各部分の出来具合いと、rf field and phase の調整具合い、及び 4. に依存する。

3) Given parameters

peak 10 mA, 500 μ sec, 50 Hz
rf pulse length 550~650 μ sec

選択の基準

周波数 400 - 1300 MHz

加速電場 1 - 10 MV

duty factor 7% 発熱、冷却

加速管の構造 TRISTAN 1 MV/m, 100%

メカニカルエラー ハドロン 3.8 MV/m, 7%

ビームロス < 1%

運転の容易さ

\$ COST

電子 constant $\beta = 1$, 単純な構造

コンピューター計算

陽子 variable $\beta < 1$, 複雑な構造 --> $\pi/2$ mode

難しい事はやめて他へまわそう

-----> single cavity chain

*セル毎の rf 給電

*運転時のチューニング?

Table 1 RF power の周波数依存性 ($E_0 = \text{const.}$)

| 周波数 (MHz) | RF power (ratio) |
|-------------|--------------------|
| 200 | 1.0 |
| 400 | 0.707 |
| 600 | 0.577 |
| 800 | 0.5 |
| 1000 | 0.447 |
| 1200 | 0.408 |

$$Z \propto \omega^{1/2}$$

$$P \propto \omega^{-1/2}$$

Table 2 1 GeV linac (CCL part).

| E_0 (MV/m) | P_c (MW) | Length (m) | No. of cell average Z ($M\Omega$ / m) |
|-------------------|-----------------|-----------------|--|
| 2.0 | 58.17 | 544.9 | 2957 37.45 |
| 2.5 | 72.73 | 436.02 | 2366 37.47 |
| 3.0 | 87.30 | 363.43 | 1972 37.47 |
| 3.5 | 101.83 | 311.46 | 1690 |

150 MeV ---> 1000 MeV, stable phase = -30° , 603 M Ξ z

Table 3 実用的な CCL の average shunt impedance Z

| 周波数 (MHz) | Z ($M\Omega$ / m) |
|-------------|---------------------|
| 400 | 30.6 |
| 500 | 34.2 |
| 600 | 37.5 |
| 800 | 43.3 |
| 1200 | 53.0 |

average $I = 0.9$ とおいている。

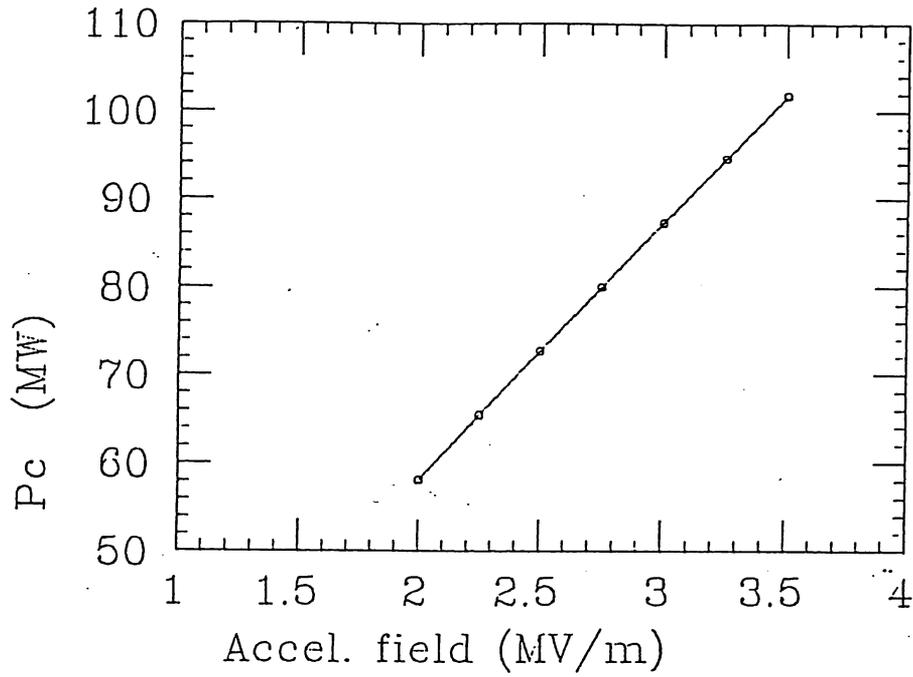


Fig. 1 Rf exciting power of CCL 600 MHz linac with acceleration from 150 to 1000 MeV and synchronous phase of -30 degrees vs. accelerating field.

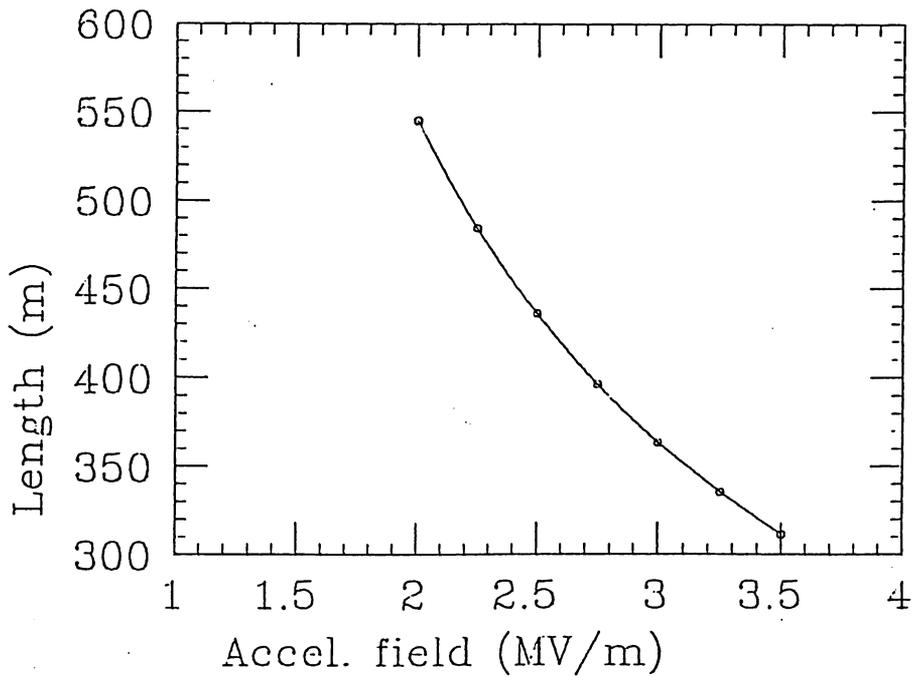


Fig. 2 Length of CCL 600 MHz linac with acceleration from 150 to 1000 MeV and synchronous phase of -30 degrees vs. accelerating field.

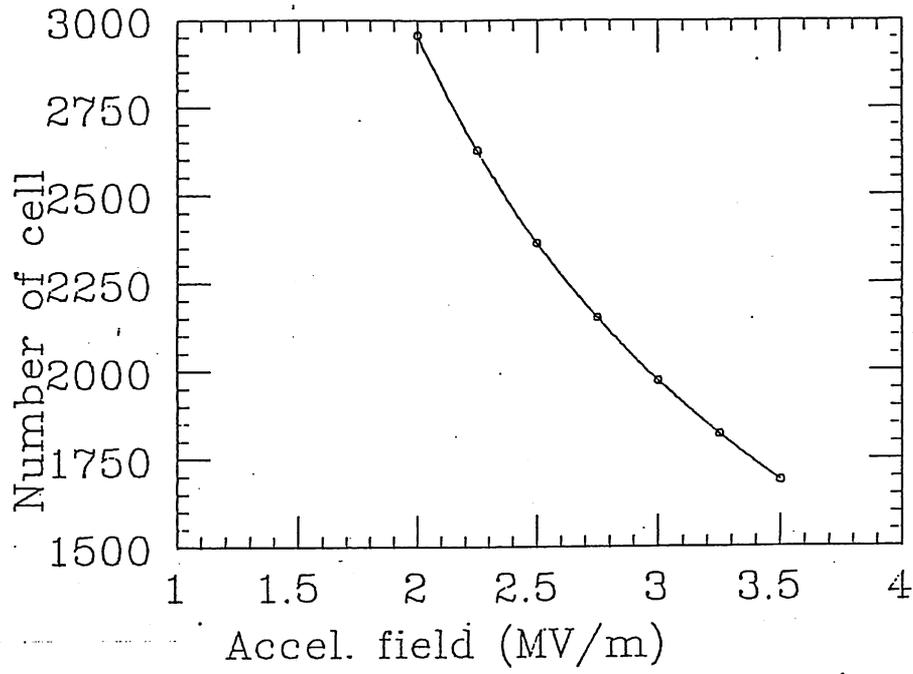


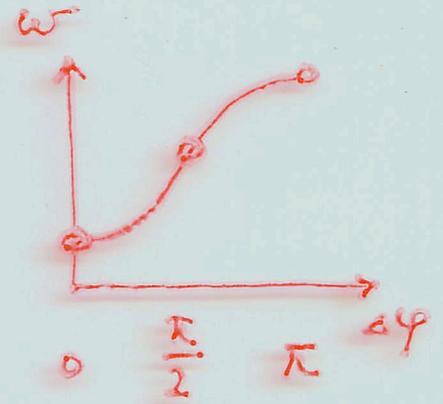
Fig. 3 Number of cells of CCL 600 MHz linac with acceleration from 150 MeV to 1000 MeV and synchronous phase of -30 degrees vs. accelerating field.

COUPLED CAVITY STRUCTURE

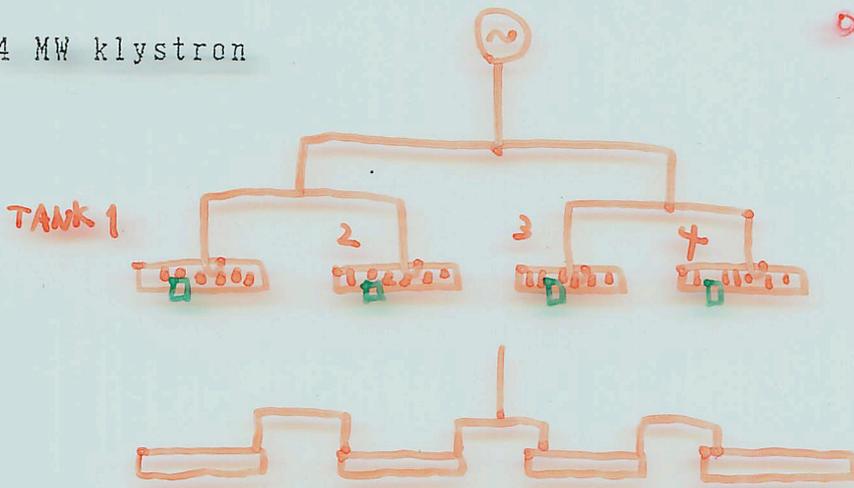
2π mode, π mode, $\pi/2$ mode
Alvarez 超伝導 APS, side-coupled

* 隣合うセルの phase shift 保証される

* タンクの中の電場分布測定可能

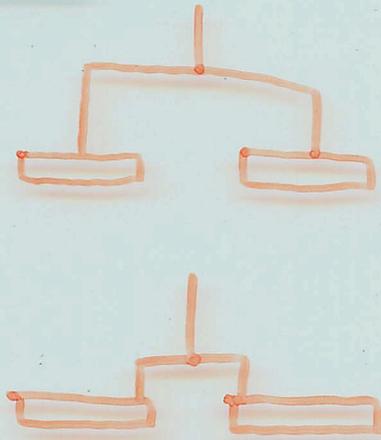


4 MW klystron



LANL Type

2 MW klystron



SINGLE CELL STRUCTURE

各セルが 中途半端に独立している

-----> rf amplitude and phase が独立に変えられない

* 隣合うセルの phase shift 保証されない

* タンクの中の電場分布測定不可能

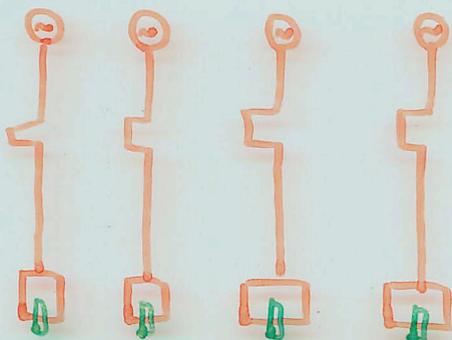
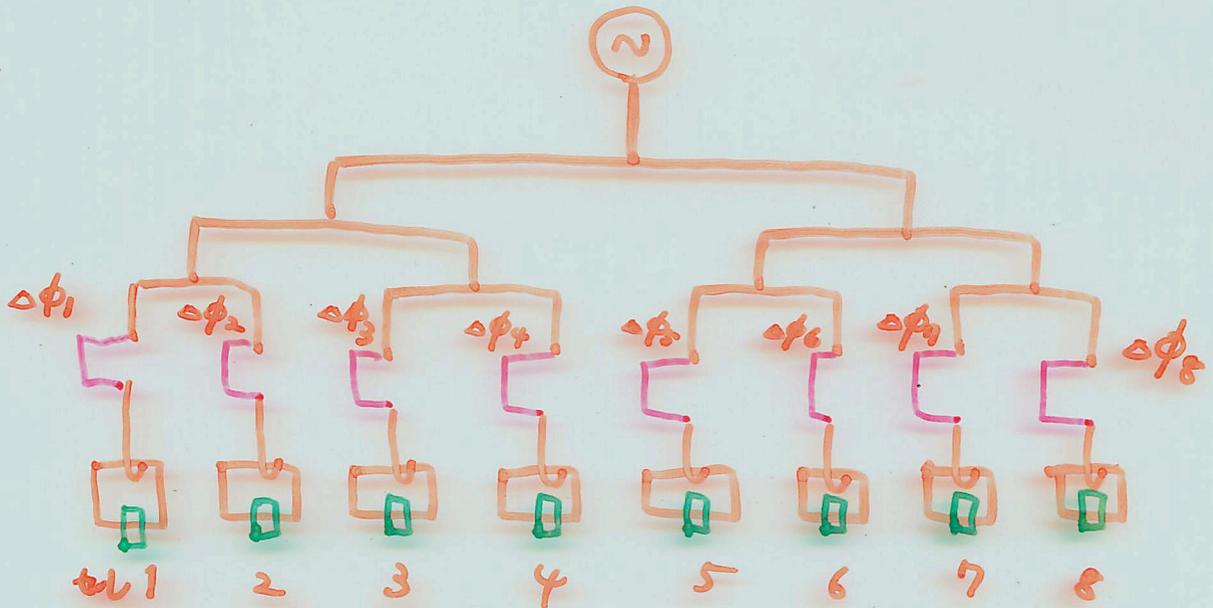
* rf amplitude の保証もなし

以上の性悪の特性を 他動的に補償する為に
チューナーをセル毎につける

-----> いつも動いているチューナー

----> detuning --> ΔE , $\Delta \phi$

----> ΔQ (10 %)



独立な single cell structure