

## Design of Demountable Damped Cavity

Taro Konomi<sup>#A)</sup>, Kenji Saito<sup>A)</sup>, Fumio Furuta<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> The Graduate University for Advanced Studies. , 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

<sup>B)</sup> KEK, High Energy Accelerator Research Organization, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

We have designed Demountable Damped Cavity (DDC) as an ILC R&D. DDC has three design features. One is the axial symmetric RF design, which can reduce the beam kick effect. Second is the coaxial waveguide structure for strongly coupled out HOMs. The last one is demountable structure, which makes end group cleaning easy to suppress the Q-slope problem at a high field, and also could bring cost reduction in cavity fabrication. There are many limitations with high gradient field. The multipacting (MP) is the one of the reasons. We have simulated MP on the DDC with CST-Studio and found it had could be not serious

## Demountable Damped Cavity の設計

### 1. はじめに

我々は 1.3GHz 超伝導 ILC Main Linac の R&D として Demountable Damped Cavity (DDC)を開発している。DDC は 3 つの特徴を持った HOM Damped Cavity である。1 つ目は軸対称構造により HOM Coupler 自身による Beam Kick Effect が生じないように工夫したことである。2 つ目は Beam Pipe に内導体を挿入して同軸管形状にしていることである。これにより空洞とのカップリング効率が高まり HOM を引き出しやすくなる。3 つ目は End Group を Zero Impedance の MO Flange<sup>[1]</sup>を用いて分離できる構造にしていることである。これにより、これまで洗浄が困難であった HOM Coupler を洗浄しやすくする。

図 1 に 9Cell 空洞の要素試験として Ichiro End Cell をベースに設計した DDC を示す<sup>[2]</sup>。本論文では超伝導空洞の高電界化を阻む要因の一つである Multipacting(MP)について CST-Studio<sup>[3]</sup>を用いシミュレーションを行い、DDC での MP 発生電界を計算したので主にこれについて報告する。

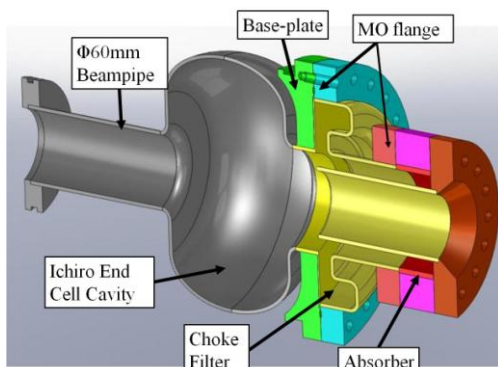


図 1 : Ichiro End Cell をベースとした DDC

### 2. DDC の RF 設計

DDC では、HOM は同軸管を通り Absorber まで伝播し吸収される。一方、加速モードは  $\lambda/4$  波長の Choke により反射されて Absorber に伝播できない構

造となっている。

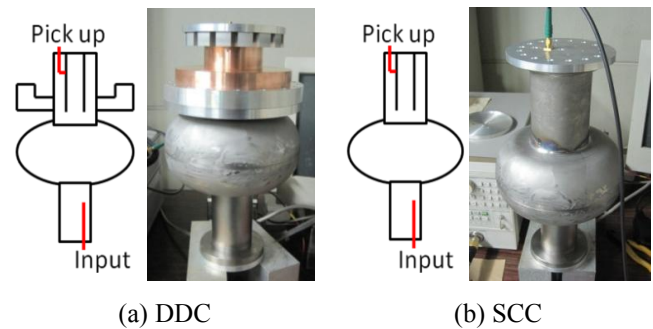


図 2 : S21 測定に用いた DDC と SCC のモデル構造

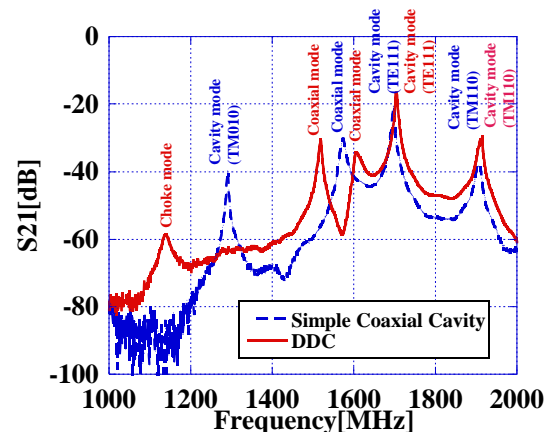


図 3 : DDC(赤実線)と SCC(青点線)の S21

図 2 のように Choke を持つ DDC と、持たない Simple Coaxial Cavity (SCC)についてネットワークアナライザを用いて透過電力 S21 を測定した。測定は ID60 の Beam Pipe 側に Input アンテナを付け、ID80 の Beam pipe 側の同軸管の内導体と外導体の間に Pick up アンテナを付け行った。図 3 は周波数と S21 の関係を示している。SCC では電子加速に用いる TM010 モード(加速モード)の共振が見えるのに対し、DDC は加速モードの共振が見えない。このことから Choke の RF 設計に問題がないことを確認した。なお、図 3 の中に示した Cavity Mode、Choke

<sup>#</sup>konomi@post.kek.jp

Mode、Coaxial Mode とは主に電磁場が空洞内のどこに強く立っているか示している。

### 3. Multipacting Simulation

DDC は End Group の高電界化を達成するために設計している。Multipacting (MP)は超伝導空洞の電界を制限する要因の一つである。我々は CST-Studio を用い Ichiro Single Cell と DDC で MP をシミュレーションした。

#### 3.1 MP のシミュレーション方法

我々はまず、RF 場の計算を行い、次に壁面から飛び出す初期粒子の数と、そのエネルギーを設定した。さらに、壁面の 2 次電子放出率(SEY)の設定を行い、粒子のトレースを行うという手順をとった。CST-Studio では SEY を Furman モデル<sup>[4]</sup>に基づいて設定し、MP(計算では空洞内に存在する電子)は図 4 に示す 3 つのメカニズムによって起こるとする。1) 入射電子により励起されて放出された電子：True Secondary Electron Emission (True SEE)、2)非弾性散乱を繰り返してエネルギーを失った入射電子：Rediffused Electron Emission (Rediffused SEE)、3)弾性散乱により反射された入射電子：Elastic Scattered Electron (Elastic SEE)である。各々の SEY られる。

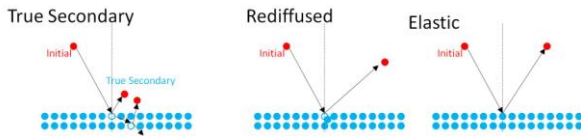


図 4：各 2 次電子放出モデルの概念図

$$\delta_{True}(E_{Initial}) = \frac{\delta_{ts,max} \left( s \frac{E_{Initial}}{E_{ts}} \right)}{s - 1 + \left( E_{Initial} / E_{ts} \right)^s} \quad (1)$$

$$\delta_{Rd}(E_{Initial}) = P_{rd,inf} \left\{ 1 - \exp \left( - \left( \frac{E_{Initial}}{E_{rd}} \right)^r \right) \right\} \quad (2)$$

$$\delta_{El}(E_{Initial}) = P_{el,inf} + (P_{el} - P_{el,inf}) \times \exp \left( - \frac{|E_{Initial} - E_{el}|^p}{pW^p} \right) \quad (3)$$

これら 3 つのモデルに基づき入射電子に対する放出電子の割合が決定される。例えば図 5 のように SEY を  $\delta_{ts,max}=1.5$ ,  $P_{rd,inf}=0.3$ ,  $P_{el,inf}=0.02$  と設定し、エネルギー 500eV の初期電子を  $N_{pr}=1521$  個入射した場合、壁面から放出される電子のエネルギー分布は図 6 のようになる。放出された二次電子数  $N_s$  は

$$N_s = N_{pr} (\delta_{True}(E_{Initial}) + \delta_{rd}(E_{Initial}) + \delta_{El}(E_{Initial})) = \delta_{Total}(E_{Initial}) \quad (4)$$

から計算され、この場合

$$N_s = 1521 \times 1.82 \approx 2768 \quad (5)$$

となり、図 6 に示した二次電子数の合計 2717 個と

ほぼ同数となることが分かる。これが CST-Studio の設定条件と実際の挙動である。

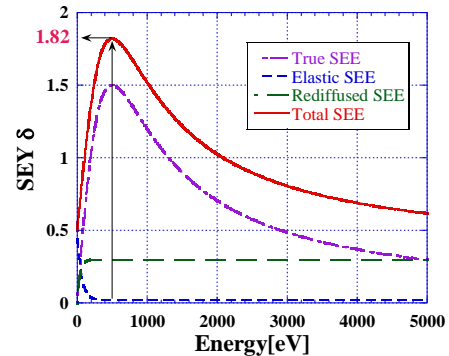


図 5：2 次電子放出面の例

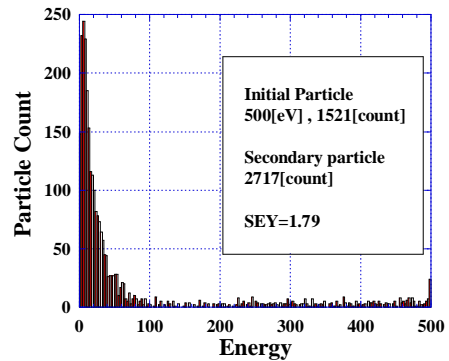


図 6：図 5 に対する 2 次電子のエネルギー分布

#### 3.2 Ichiro Single Cell と DDC の MP

図 7 に示す RF パラメータを持つ Ichiro Single Cell (IS) と DDC について、IS は空洞赤道部、DDC は Choke 部について MP シミュレーションを行った。シミュレーションに用いた SEY の設定は  $\delta_{ts,max}=2$ ,  $P_{rd,inf}=0.3$ ,  $P_{el,inf}=0$  であり、図 8 に示す。

RF Parameter	IS	DDC
Geometry		
Geometrical factor[Ohm]	281.8	282.4
R/Q[Ohm]	138.6	127.2
Ep/Eacc	2.07	2.17
Hp/Eacc[Oe/(MV/m)]	35.6	37.5
Max Eacc (critical field 1900[Oe])	53.4	50.6

図 7：IS と DDC の RE parameter 比較

シミュレーションでは時間と電子数の関係が得られる。例として IS 形状で加速電界 27.5MV/m の場合を図 9 に示す。我々はこれを

$$P = A \exp(B \cdot t) \quad (4)$$

で Fitting することによりパラメータ A と B を得る。パラメータ A を初期粒子数で割ることで、初期粒子の内 MP に発展する割合を示し、これを Counter Function (CF)と呼ぶ。また、パラメータ B は粒子の増倍率に関係しており、これを Enhanced

Function(EF)と呼ぶ。

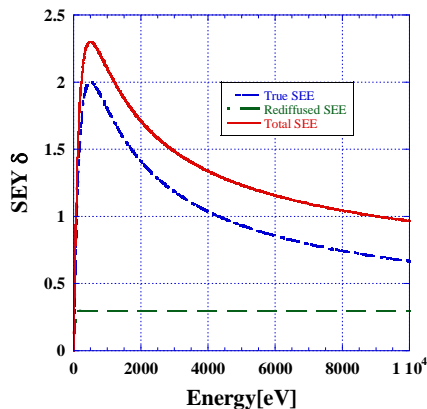


図 8 : MP シミュレーションに用いた SEY

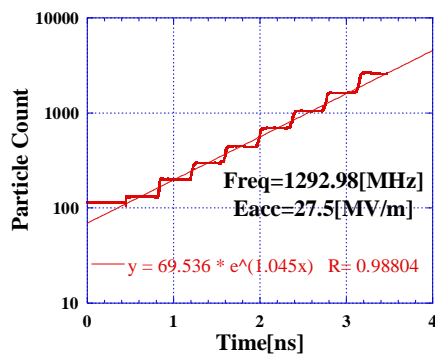


図 9 : 時間と粒子数の関係の例

IS の Cavity 部分と DDC の Choke 部分で MP シミュレーションを行い、CF と EF を求めた結果を示すと、図 10、11 である。IS と DDC の MP 発生電界での電子軌道を図 12 に示す。

文献[5]では IS 空洞で MP の発生する領域について実験結果が報告されており、18~26MV/m の加速電界で発生する。シミュレーションでは 18MV/m~50MV/m 以上の広い範囲にわたり発生している。実験で 26MV/m 以上で MP が観測されないのは、MP プロセスが進むとニオブ表面がクリーニングされ、SEY が下がりプロセスアウトするためと考えられている。一方、シミュレーションではそのことが考慮されておらず、最悪のケースである。MP が 18MV/m から発生するという事は実験とシミュレーション両方で合致している。

DDC の Choke 部では 12、19、34MV/m を中心とした 3 つの領域で MP が発生する。ここで、EF について空洞部と比較すると Choke の方が小さいことが分かる。

また、空洞の MP は実験ではプロセスアウトできることから、DDC の Choke で生じる MP もプロセスアウトできると期待される。我々は、DDC では 50MV/m の高電界まで、深刻な MP 制限は起きないだろうと結論できる。

#### 4. まとめ

我々は DDC 空洞の設計を進めている。モデル空

洞を用いて、加速モードが Choke により反射され HOM 吸収体設置位置にまで伝搬しないことを確認した。また、MP シミュレーションを行い、Choke に生じる MP はそれほど深刻でないだろうとの検知を得た。

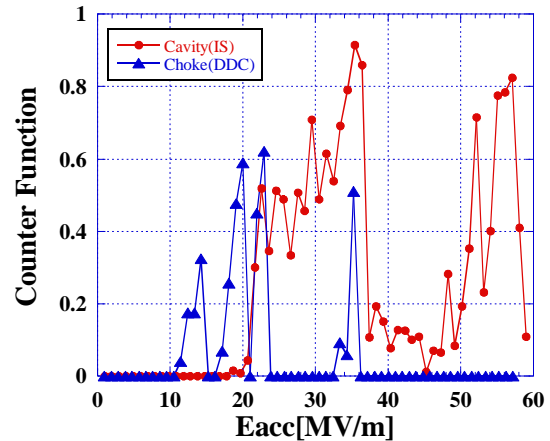


図 10 : IS と DDC の Counter Function

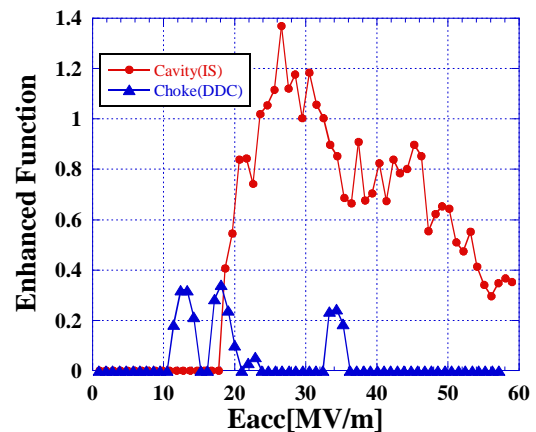
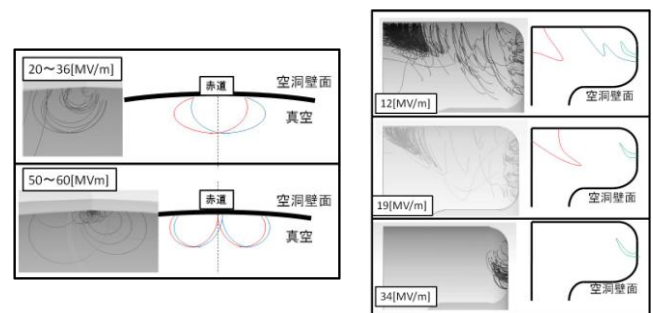


図 11 : IS と DDC の Enhanced Function



(a) Cavity (IS)

(b) Choke (DDC)

図 12 : 共鳴粒子の軌道

#### 参考文献

- [1] K. Saito et al., in this proceeding, THPS062
- [2] T. Konomi et al., Proc. of the IPAC 10, WEPE014
- [3] <http://www.cst.com/>
- [4] M. A. Furman et al., Phys. Rev. ST. AB., 5.124404 (2002)
- [5] F. Furuta et al., Proc of the SRF 2007 , TUP10