

R&D Status of ATF Damping Ring

J.Urakawa, S.Araki, Y.Funahashi, F.Hinode, Y.Kanazawa**, M.Kikuchi, T.Korhonen,
K.Kubo, T.Kubo, S.Kuroda, T.Matsui**, M.Minty*, H.Nakayama, K.Oide, S.Sakanaka, K.Takata,
Y.Takeuchi and N.Terunuma

National Laboratory for High Energy Physics

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305, Japan

*SLAC, Stanford University, Stanford, CA 94309

**ATC Co., Ltd., 36-7 Namiki, Hachioji, Tokyo, 193 Japan

ABSTRACT

The ATF (Accelerator Test Facility) is being constructed at KEK. The ATF has been designed to test the experimental feasibility of the accelerator sub-systems and to confirm the specification of the total accelerator system for LC (Linear Collider). A 1.54 GeV damping ring is the main accelerator sub-system of the ATF. The beam operation of the damping ring will be started from the end of 1996. The purpose of the ATF DR is to produce the multi-bunch beam of the vertical normalized emittance less than 3.0×10^{-8} radm. This paper describes the status of the various R&D works and the construction for the damping ring.

ATFのダンピングリングの研究開発状況

1.はじめに

ビームエネルギー250 GeVで $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ に近い luminositiyを得るためには衝突点でのビームサイズを水平方向約300 nmで垂直方向約3 nmにする必要がある。Synchrotron Radiation Limit (Oide Limit) のために、垂直方向のビームサイズを3 nm以下にするには垂直方向の規格化エミッタンスを 5.0×10^{-8} radm以下にしなければならない。このよに超低エミッタンスのビームを作るためのダンピングリングの建設には、従来の加速器技術を数倍上回る技術が要求される。そこで我々はダンピングリングの試験加速器(ATF)を建設し、ビームによる性能試験を行ない、垂直方向の規格化エミッタンス 3.0×10^{-8} radm以下を達成することがリニアコライダー計画を成功させる必須条件であると考えた。

ATF計画の加速器構成を図1に示す。熱

電子線源から大強度単バンチビーム (5×10^{10} 程度) 又は2.8 nsec間隔の25バンチビーム (2×10^{10} 程度) を発生して、1.54 GeV S-band Linacで加速した後Damping Ringに入射する。電子ビームは放射減衰により水平方向及び垂直方向の規格化エミッタンスが 4.0×10^{-6} radm及び 3.0×10^{-8} radm以下になるまでリング内を回り取り出される。取り出された低エミッタンスビームはBeam Test Areaでビーム診断された後、ビームダンプに捨てられる。また1.54 GeV S-band Linacからのビームを使って、陽電子発生標的に関する研究や種々の技術開発のための実験が行なわれる。ここではATFダンピングリングの研究開発状況について報告する。

2.設計パラメータ

設計方針及び条件は1990年及び1992年のライナック研究会で既に報告されたので、

表 1 Parameters of the ATF Damping Ring
Combined FODO +Wiggler

Beam Energy	1.54GeV
Circumference	138.6m
Number of Particles per Bunch	1×10^{10}
Repetition Rate	25Hz
Harmonic Number	330
Number of Normal Cells	36
Maximum Total Current	600mA
Bending Field	0.896T
Wiggler Pitch	40cm
Wiggler Field	1.61T ($l_{\text{eff}}=0.144\text{m}$, $\lambda=0.4\text{m}$)
Number of Cavity Cells	4+1(Passive Cavity)
Phase Advance per Cell	40degrees, 52degrees
Synchrotron Radiation per turn	0.1564MeV
Maximum Total Current	600mA
Longitudinal Impedance Threshold	0.21 Ω
Momentum Compaction	0.00193
Damping Time	6.9msec, 9.2msec, 5.5msec
Damping Partition Number	1.33, 1.00, 1.67
Tune	15.105, 9.135
Accelerating Frequency	714MHz
RF Voltage	0.77MV
Natural Emittance	1.24nradm
Bunch Length	4.09mm(4.33mm)
Energy Spread	0.0675%(0.0716%)
Touschek Lifetime	76sec
Emittance with Intra-beam	1.49E-9
Coupling (Emittance Ratio)	0.67%

設計パラメータの最新結果のみを表 1 に示す。

3. ダンピングリングの研究開発状況

3-1. シミュレーション結果

計算機シミュレーションコード SAD(KEK Original Code), MAFIA, ABCI等を使用して、得られた結果を以下に簡単にまとめる。

磁石の設置精度を垂直方向 60 μm 、水平方向 90 μm 、鉛直面内の回転 0.2mrad とし、磁場精度を 0.1% 及び位置モニターの設置エラーを 0.1mm とした場合、軌道補正を行なうことによって、目標の垂直エミッタンスを達成できることが計算機シミュレーション(SAD)で確認された。又、リングのアクセプタンスはエネルギー $\pm 1\%$ 以上で $40\sigma_0$ 以上であることが、上述の設置エラー、磁場精度及びウィグラーの正弦磁場を仮定した場合に確認された。ここで、 σ_0 は平衡エミッタンスを仮定したときのビームサイズである。Bump-tuning を行なうと、磁石の設置精度を垂直方向 100 μm 、水平方向 150 μm まで許容できる。

ただし、実際の装置としては、磁石の設置精度を垂直方向 50 μm 、水平方向 60 μm 、鉛直面内の回転 0.2mrad、磁場精度を 0.1% 及び位置モニターの設置エラーを 0.1mm 以内になるように進めている。

真空装置の Longitudinal Impedance を MAFIA, ABCI 等で計算した結果、主に RF Cavities の寄与が大きくて 0.331 Ω になった。主な Impedance は Capacitive なので、Bunch Lengthening の Threshold Current は 3.3×10^{10} particles/bunch (4.3mm) になると予想されている。

3-2. 真空、電磁石、位置モニター、高周波装置、入射・取り出し装置の開発

真空 Chamber のアーク部は全て完成した。本年度に直線部の真空 Chamber が発注される。真空システムの全体設計の要求として、600mA の電流で 6×10^{-6} Pa 以下が達成出来ることに成っている。

全てのウィグラー電磁石は製作終了し、その設置と運転を待っている。偏向電磁石、4 極及び 6 極電磁石は本年全数製作される。

必要とされる磁場精度は0.05%以内、磁石の設置精度は垂直方向50 μ m以内、水平方向60 μ m以内及び鉛直面内の回転0.2mrad以内を目標にして製作している。

位置モニターは真空ダクトに取付けられ、4極及び6極電磁石に0.1mm以内の精度で固定する方法を検討している。ATF Injector Linacのマルチバンチビームをこの位置モニターで検出した。マルチバンチビームの信号はバンチごとに分離でき、検出感度も十分にある。

高周波装置の周波数は、加速モードのマルチバンチ不安定性とビームローディングによるバンチの平衡位置のシフトを小さくすることとバンチの長さを5mmにする条件から714MHzに決めた。プロットタイプの大電力試験用減衰型空洞が製作され、この8月に性能試験を行なう予定である。

取り出し装置として、キッカーマグネットを2台と電源1台を製作した。このキッカーマグネットの発生磁場は、立ち上がり及び立ち下がり時間60nsec以下でフラットトップ時間約150nsecまでで、5mrad程度の偏向力をビームに与えることが出来る。セプタムマグネットはDC typeで入射・取り出しにそれぞれ3台使用する予定で、設計を進めている。キッカーの安定性は 10^2 程度と考えられるので、リングからのビーム取り出しに関しては、リング内のキッカーと同じキッカーを取り出し軌道さに入れ、1台の電源からインピーダンスマッチングをとって電流を供給するダブルキッカーシステムになる。このキッカー間の位相差は180度にあわせるので、ビームに与えるフラットトップの変動は打ち消し合うことになる。ダブルキッカーシステムの安定性は 5×10^4 程度であると評価して、その測定を進めてい

る。一方、入射キッカーシステムとして、SLCの電子ビーム用ダンピングリングのキッカーシステムを使うことになった。国際協力でSLACに製作をお願いすることになっている。

4. 運転予定

最も順調にATFの建設が進んだ場合、1996年12月ごろからダンピングリングに3~10mAの単バンチビーム入射試験を行なった後、100mAのマルチバンチ運転に進む予定である。

5. 技術開発

ダンピングリングを建設する場合に要求される主な技術について以下に要約し、国際協力で進められているダンピングリングの開発技術を紹介する。

1) 入射及び取り出し系のキッカー電磁石は高い繰り返し(150Hz)で動作して、立ち上がり及び立ち下がり時間が短くて(60nsec以下)、Flat Topの時間が長い(~300nsec)台形磁場を発生しなければならない。また、ビームのふらつきを小さくしなければならないので、各Elementの安定度は従来のものと比べて10倍以上でなければならない。

2) エミッタンスが放射光用低エミッタンスリングと比較して1/10以下になるため、アラインメント誤差やマグネットのフィールド誤差などがエミッタンス増加を引き起こす。位置にして50 μ m以下の設置精度と0.1%以下のフィールドQualityが要求される。

3) マルチバンチ運転を行なうので、Coupled bunch instabilityを十分に考慮したRF系を製作しなければならない。

4) 5 μ m以下の相対精度でビーム位置を測定しなければならない。

5) 磁場が高く(~1.7T)、ピッチの短いウィグラーを多数精度良く製作しなけれ

ばならない。

垂直方向のエミッタンスは $\sim 10^{-11}$ radmで、このような超低エミッタンスは種々の補正を行なわない限り得られない。例え全てのエレメントを精度よく製作設置できても、リング全体として性能を十分に出せるかはリング全体の調整に依存している。国際協

力によって開発されている装置が完成した後、ビーム実験によってビーム調整技術を開発しながら装置に必要な改良を行なわなければならない。ダンピングリングの最終性能を発揮させるには最先端のビーム診断技術と自動制御技術を駆使することになる。

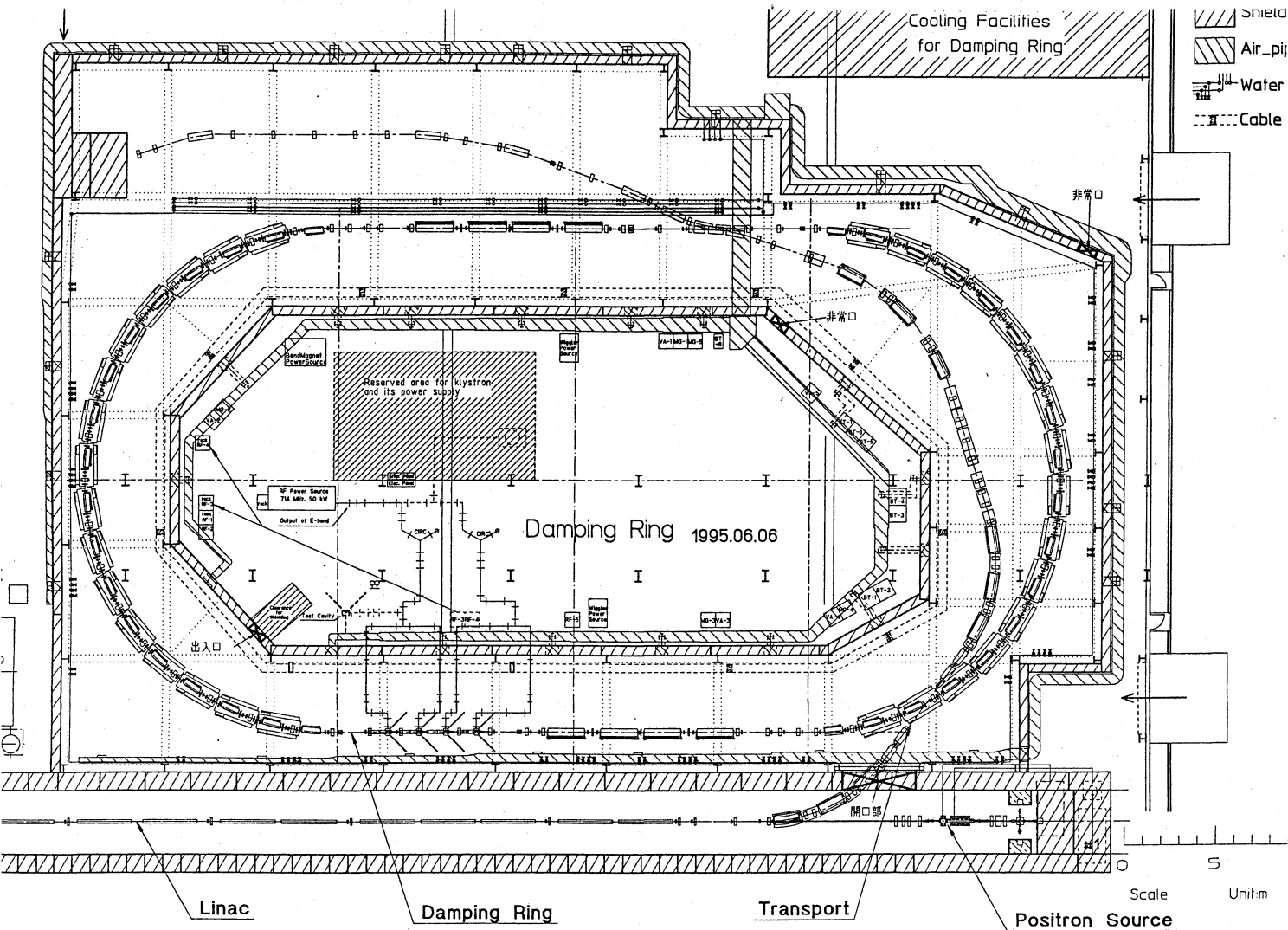


図1.ATF計画の加速器構成