

ECRIS から引き出したイオンビームの輸送

2006/12/1 森信 俊平

2006/12/13 加筆

1. 序

本稿は ECR イオン源から AVF 垂直入射系入口に至るビーム輸送計算のまとめである。計算は同輸送系の設計において、主として二宮氏（現住友イートンノバ(SEN)社）の手になったものであるが、ほぼそれから2年を経過して記憶も薄れて来ており、最小限の記録を残しておくのが本稿の主な意図である。ただし、本稿に掲げた計算結果は、残った資料を参考にし、装置の製作過程で生じた機器寸法の変化も取り入れて、改めて全て計算し直したものであり、必ずしも二宮氏の計算結果そのものではないことを断っておく。

2. 輸送計算の前提

輸送計算を始めるに当たって、前提としたことは次のとおりで、1次の計算に限定した。

- 1) 偏極 Li イオンの偏極軸とビーム軸を一致させるために、イオン電荷/質量比分析電磁石の偏向角を 110° とし、偏向角 -20° の静電偏向器で軌道を曲げ戻すことにより、全体として 90° の偏向系とする。
- 2) 系は偏極 Li イオンの偏極軸方向を制御するためのウィーンフィルターを含み、ウィーンフィルターはビーム軸の周りに回転できる。従って、ウィーンフィルターの収束効果は、回転角度に応じて、 x -, y -両方向に分散する。
- 3) ビーム特性は、輸送系の入り口で正立のエミッタンス楕円で表されるとし、 x -, y - 両方向とも、ビームサイズは ± 4 mm、発散角度幅は ± 25 mr とする。即ちビームの想定エミッタンスは x -, y - 両方向とも 100π mm \cdot mr である。
- 4) サイクロトロン垂直入射系への接続点(輸送系出口)で、ビームサイズは x -, y - 両方向とも、 ± 10 mm 以下とする。(注：この条件は他の既設イオン源の運転経験から来たものとの二宮氏の説明であったが、十分な検討を経たものか否かは不明である。)

3. 系の構成と主要光学要素

採用された系の構成を図 3.1 に示す。最上流のイオン電荷/質量比分析電磁石 B に引き続い

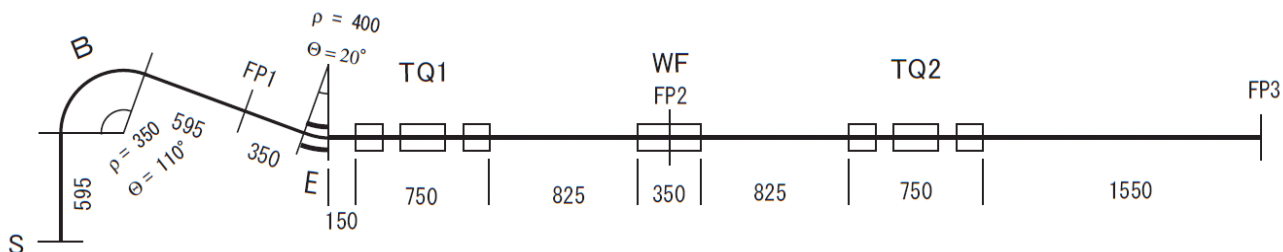


図 3.1 ECR から AVF 垂直入射部に至るビーム輸送系配置図

S, 源点 (ECR からのビーム引き渡し点); B, 偏向電磁石; E, 逆偏向電極; WF, ウィーンフィルター; FP1, 偏向電磁石収束点; FP2, 中間収束点 (ウィーンフィルター中央); FP3, AVF 垂直入射系接続点

て逆偏向電極 E が設置されている。ビームは引き続き 3 連静電 Q レンズ TQ1 でウィーンフィルター WF の中央 FP2 に収束させられた後、TQ2 で輸送系出口 FP3 まで輸送される。系の構成寸法を明示するために、ビーム輸送計算に用いたプログラム ORBIT への入力例を末尾に付しておく。主要な光学要素の諸元を表 3.1 に掲げ、若干の説明を下記に付す。

- 1) 偏向電磁石 B： 電磁石 B は、イオン質量／電荷比分析系の主要素であり、入出口が対称な一様磁場電磁石である。S-B-FP1 の系は 2 重収束系をなしている。
- 2) 偏向電極 E： 偏向電極 E については円筒電場を想定し、入出口のアース板の開幅を電極間隙以下、アース版－電極間距離を電極間隙程度とした場合の fringing field 分布を想定している。
- 3) 静電 Q レンズ TQ1, TQ2： 2 台の同型の静電 Q レンズ (TQ1, TQ2) が使用されている。ボア径は上述の前提に基づいて計算されたビームの広がりから決定されている。
- 4) ウィーンフィルター WF： 基本的に一様場直線型のウィーンフィルターである。有効電場長を有効磁場長と等しくするために、電極上下流端から 40 mm 離れて 2 台の補正電極 (ステアラー) が設置されている[1]。

表 3.1 ビーム輸送で前提とした主要光学要素の諸元

	中心軌道半径 (mm)	偏向角度 (°)	(電)磁極間隙 (mm)	入口角度 (°)	出口角度 (°)	m/q 分散 (mm at FP1)
偏向電磁石	350	110	70	39.7	39.7	830.8
偏向電極	400	-20	40	—	—	—
3 重静電 Q レンズ (同型 2 台)	ボア直径 (mm)	両端 Q 電極長 (mm)	中央 Q 電極長 (mm)	電極アース距離 軸方向(mm)		
	100	150	250	50		
一様場型 ウィーン・フィルター	有効長 (mm)	磁極長 (mm)	磁極間隙 (mm)	電極長 (mm)	電極間隙 (mm)	補正電極長 (mm)
	350	260	90	260	60	50
			場整形シム付		場整形リヤ付	上下流各 1 台

4. ウィーンフィルター WF を運転しない場合のビーム輸送

4.1. イオン質量／電荷比分析系

図 3.1 で、S-B-FP1 の系は 2 重収束の分析系をなしている。構成要素の少ない分析系とするために、電磁石 B は入出口が対称な斜入出射電磁石となっている。磁場境界がシャープカットオフ境界である場合、偏向角を ϕ 、入出口の磁場境界の傾き角を共に α (符号は水平面内発散作用を持つ場合を正)、入出口側の腕の長さを共に a とすると、 $2 \tan \alpha = \tan(\phi/2)$ 、 $a = 2\rho \cot(\phi/2)$ の時 2 重収束が成立するが、表 3.1 に掲げた α 、 a の値には、有限な fringing field 分布の影響が取り入れられている。(α が少々大きいことが若干気になる。) 2 重収束点 FP1 での質量/電荷比分散は 830.8 mm であり、像倍率は 1 である。従って、源幅を第 2 節に述べたように ± 4 mm とすれば、質量/電荷比分解能は 104 と言うことになる。

4.2. 収束点 FP1 以降のビーム輸送

収束点 FP1 以降のビーム輸送においては、装置の経済のためにビーム幅を過大にしないよう配慮し、その上で第 2 節 4 項に述べた系出口に必要なビームサイズを実現する事を目標としている。このために 3 連静電 Q レンズ 2 台 (TQ1, TQ2) が用いられる。(磁気 Q レンズでなく静電 Q レンズを用いる理由は偏極ビームの磁場内再差運動による減偏極を防止するためである。) TQ1, TQ2 内でビーム幅に留意しつつ系出口にビームを輸送する。偏向電場 E の収束効果を見れば、中心軌道に沿った FP1-TQ1 の距離が小さいほど TQ1 内でのビームサイズを小さくできる。ただし、機器配置の実現性と最終ビームサイズへの配慮が必要である。TQ2 内でのビーム幅を大きくしないためには、ウィーンフィルター WF の中心位置 (TQ1-TQ2 間中心) 付近にビームの“節”を作ることが考慮されている。(後述するように、これはウィーンフィルターの運転で他の要素が大きく影響されないためでもある。)

表 4.1. F-F mode における TQ1, TQ2 レンズの電場勾配

	TQ1			TQ2		
	U	M	D	U	M	D
電場勾配/Fp[m ⁻²]	-19.154	17.446	-19.154	-15.304	15.510	-15.304

(注) 表値は電場勾配を粒子のelectric rigidity(Fp)で除した値である。符号は、x-方向に収束効果を持つ場合を正とする。イオン加速電圧をV、レンズのボア半径をRとした場合、印可電圧は表値にVR²を乗じて得られる。なお、表値はレンズ電極長を有効長と仮定して算出した。

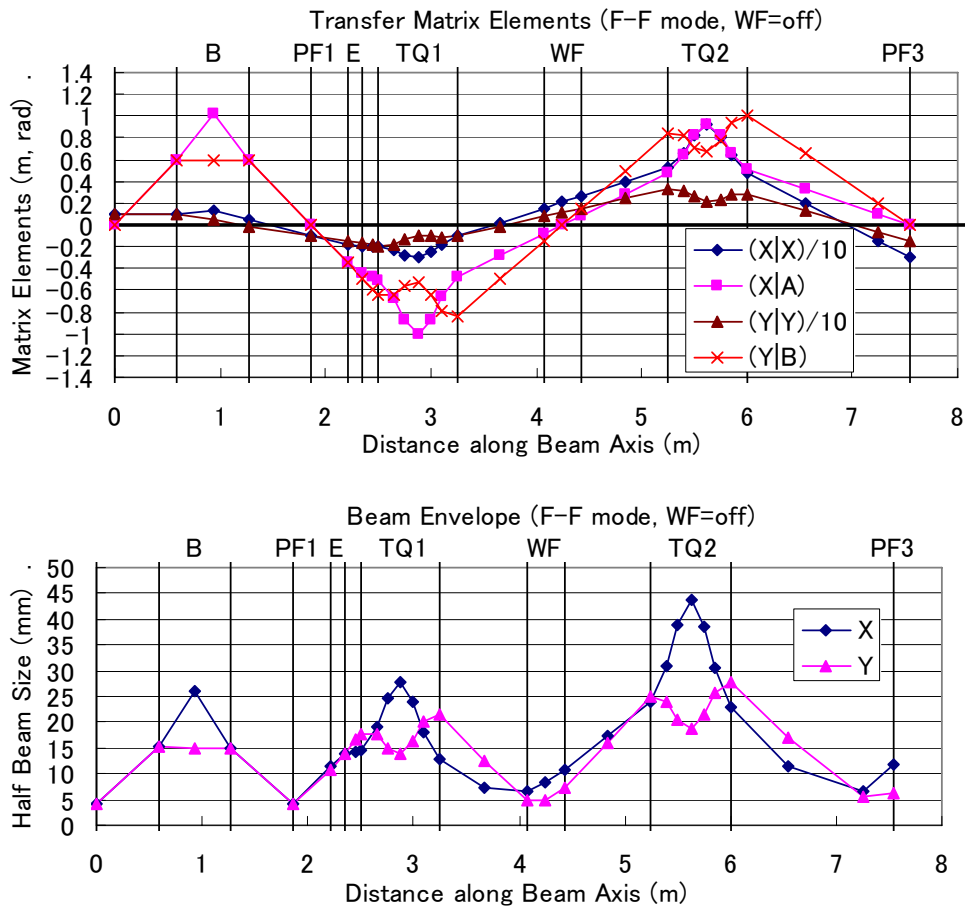


図 4.1 F-F mode でのビーム輸送系の輸送行列要素 (上) とビームサイズ (下) ビームサイズの計算においては、第 2 節 3 項のビーム初期条件を仮定している。

このような配慮から、WF の中心と系の出口で2重収束を実現する (F-F mode) ように計算した場合の、全系の輸送行列要素、および第2節3項のビーム初期条件を前提としたビームサイズを図4.1に示す。ただし、2台の3連Qレンズとも、上下流端Qレンズの電場勾配を等しくする運転とした。このF-F modeでのTQ1, TQ2の電界パラメーターを表4.1に掲げる。F-F modeは図3.1に示す輸送系において基本的な運転方法とも言えるが、図4.1から見るように、TQ2内でビーム幅はやや大きく、系出口のビーム幅も要請(第2節4項)限界を少し越えている。

そこで、WFの中心と系の出口でビームがwaistを作る(W-W mode-1)ように条件を変更して計算した場合の輸送行列要素とビームサイズを図4.2に示しておく。ただし、此処で言うwaistとは「x-方向、y-方向のビーム最大幅の2乗和が極小になる状態」を言うものとし、2台の3連Qレンズとも、上下流端のレンズ強度を等しくしている。Qレンズの電場勾配を表4.2に掲げる。表4.1と表4.2を比較してみると、W-W mode-1はF-F modeのわずかな変形に過ぎないと言えるが、図4.2に見るように、TQ2内と系出口FP3でのビームサイズは輸送系への要請に沿う程度に小さくなっている。なお、TQの上下流端のレンズ強度を等しくしない運転で、特に大きなメ

表 4.2. W-W mode-1 における TQ1, TQ2 レンズの電場勾配

	TQ1			TQ2		
	U	M	D	U	M	D
電場勾配/Fp[m ⁻²]	-18.669	16.951	-18.669	-14.928	14.986	-14.928

(注) 表 4.1 の注記はそのまま本表にも適用される。

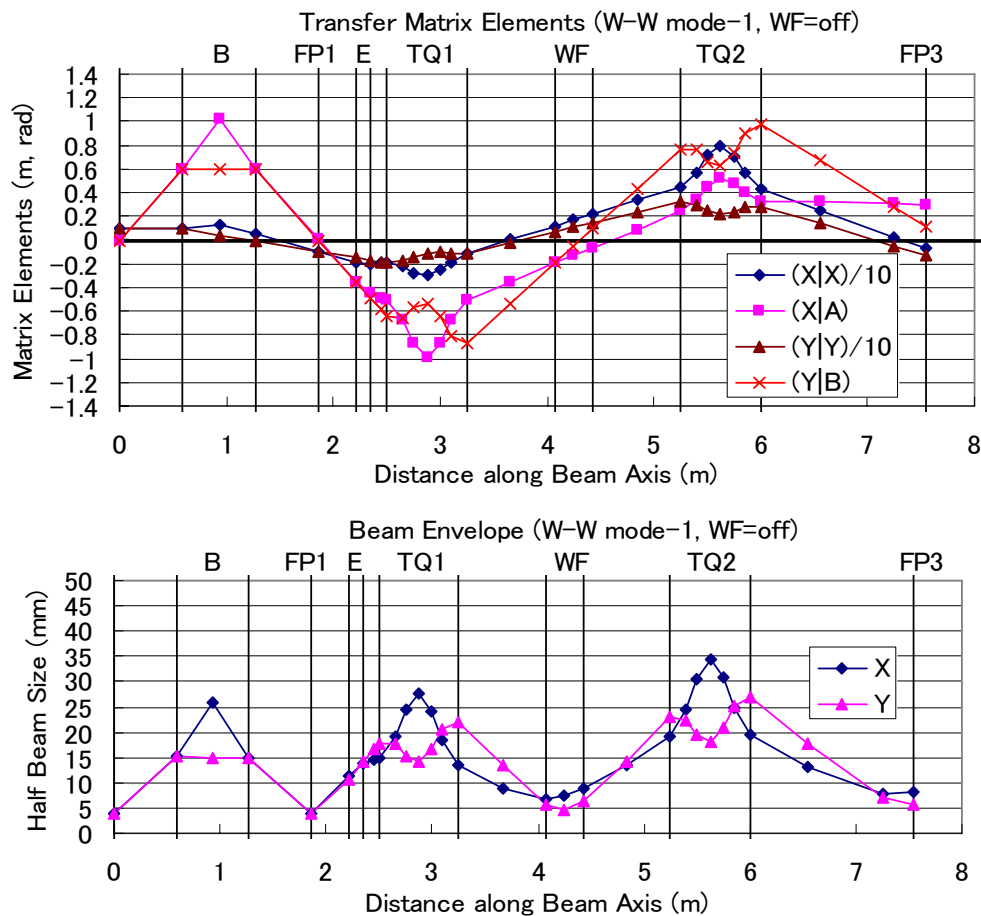


図 4.2 W-W mode-1 でのビーム輸送系の輸送行列要素(上)とビームサイズ(下) ビーム初期条件は第2節3項を参照のこと。

リットが得られる訳ではない。

参考までに、上記 W-W mode-1 場合とは TQ2 の電圧印可極性が逆の場合 (W-W mode-2) についても、同様の計算結果を表 4.3 及び図 4.3 に示しておく。この運転 mode では、TQ2 内でビームは y-方向に Q レンズのボア径近くにまで広がる。その意味で図 4.2 と比較すれば W-W mode-1 の方が W-W mode-2 より望ましいと言えるが、後で述べるように、ウイーンフィルター WF の運転によって新たなレンズ作用が加わった場合には、両者は使い分けることが必要になる。

なお、念のため述べておくと、Q レンズの動作が水平面内で収束、発散効果をもたらす場合を、それぞれ F, D と標記すると、mode-1 とは TQ2 が D-F-D、mode-2 は F-D-F でそれぞれ運転される場合を言う。TQ1 は何れの場合も D-F-D で運転される。

表 4.3. W-W mode-2 における TQ1, TQ2 レンズの電場勾配

	TQ1			TQ2		
	U	M	D	U	M	D
電場勾配/Fp[m ²]	-18.669	16.951	-18.669	14.290	-14.928	14.290

(注) 表 4.1 の注記はそのまま本表にも適用される。

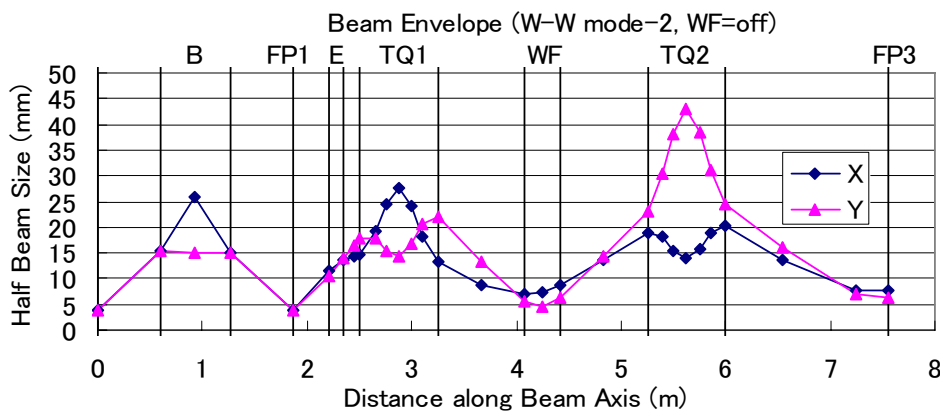
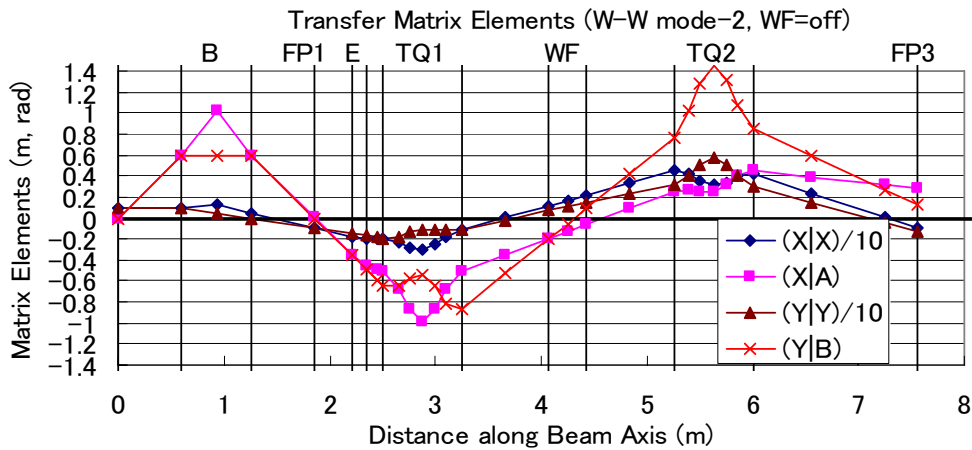


図 4.3 W-W mode-2 でのビーム輸送系の輸送行列要素 (上) とビームサイズ (下) ビーム初期条件は第 2 節 3 項を参照のこと。

4.3. 参考—TQ 間 waist の移動

上記には、ビームが WF 中心で収束、若しくは waist を作る条件で、輸送行列を計算した。現実のビーム輸送においては、実際のビーム初期条件に応じた多少の調節が必要となるであろう。その調節の中で最も可能性の大きいものは、TQ1, 2 間に作る waist 位置の変更かも知れない。

waist を TQ1, 2 間で上 (下) 流に移動させれば、一般に TQ2 内ビーム幅は大きく (小さく) なり、系出口でのビーム幅は小さく (大きく) なる。このことを念頭に輸送系の運転を行うことも考えられる。参考までに、図 4.3 に W-W mode-1 で waist の移動に必要な TQ1, 2 レンズ強度の相対的变化を示しておく。ただし、waist とは、前節と同じく「 x -方向, y -方向のビーム最大幅の 2 乗和が極小になる状態」を言うものとする。

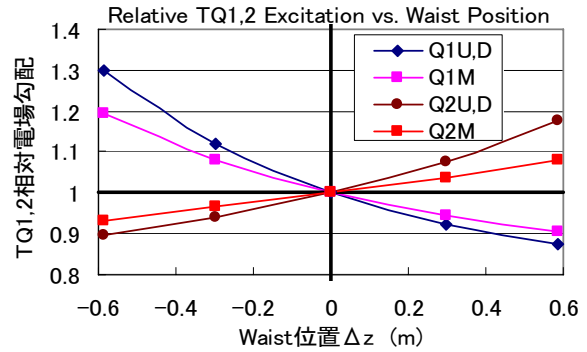


図 4.3 W-W mode-1 で、TQ1, 2 間で waist を移動させるのに必要な Q レンズ電場勾配の相対変化
横軸 $\Delta z = 0$ はウイーンフィルター中心位置に対応する。

5. ウイーンフィルターWF を運転する場合のビーム輸送

5.1. 計算の前提

直線型ウイーンフィルターは、近軸粒子線に対して、磁場に平行な面内に収束効果を持たず、電場に平行な面内に収束効果を持つ。ただし、本輸送系では、ウイーンフィルターWF は偏極イオンのスピン方向制御のために用いられるから、場の強度は、スピン制御の目的に応じて変わる。さらに、2 節に述べたように、WF は軸の周りに回転でき、スピン制御目的によって収束効果のある面もまた変わる。このような収束作用の強度と方向が変わる要素によって、輸送系の他の要素の運転パラメーターが強い影響を受けることは望ましいことではない。前節までに述べてきた、WF の中央で waist を作るビーム輸送方法は、この影響を最小限にする方法である。

以下では、典型的な例として、WF の収束効果が x -方向にある場合と、 y -方向にある場合について、TQ2 の必要強度、輸送ビームサイズについて概観する。WF の輸送行列要素と WF 入出口での漏れ電磁場の補正は文献[2]に従う。WF 内の一様場領域で、電場のみ、磁場のみによる粒子軌道の曲率を $|h_{E0}| = 1/\rho_{E0}$, $|h_{B0}| = 1/\rho_{B0}$ とするとき、WF 内の場の最大強度は $|h_{E0}| = |h_{B0}| = 6.1123 \text{ m}^{-1}$ に対応する強度とする。これは、電荷 $q = 3+$, エネルギー $T_0 = 60 \text{ keV}$ の ${}^6\text{Li}$ に対して、スピン回転角度 100° に対応する強度である[1]。さらに、TQ1 の運転パラメーターは WF の運転状態に依らず上記 W-W mode の値に固定する。本来、WF の中心に waist を作るための TQ1 運転パラメーターは、WF 内の場の強度にも依存するが、実際にはその効果は極めて小さく、事実上固定しても結果は変わらない。

なお、前述と同様、waist とは「 x -方向, y -方向のビーム最大幅の 2 乗和が極小になる状態」を言い、TQ2 運転 mode には上述のように、mode-1(D-F-D), mode-2(F-D-F) の 2 通りを考慮の対象とする。

5.2. WF 内磁場 B_{WF} が x -軸 (水平軸) に平行な場合 (電場 E_{WF} は y -軸に平行)

この場合には、WF の収束効果は y -方向に現れる。WF 最大強度において、W-W mode-1 (TQ1:D-F-D, TQ2:D-F-D) でビーム輸送を行う場合に必要な TQ1, 2 の強度を表 5.1 に掲げる。第 2 節 3 項のエミッタンスに対して計算されるビームサイズは図 5.1 に示す。表の TQ2 強度は表 4.2 に較べて僅かに変化するが、ビームサイズは図 4.2 と較べて殆ど変わらない。図は割愛す

表 5.1. WF 最大強度設定 (B//x) における W-W mode-1 での TQ1, TQ2 電場勾配

電場勾配/F ρ [m ²]	TQ1			TQ2		
	U	M	D	U	M	D
	-18.669	16.951	-18.669	-15.392	15.225	-15.392

(注) 表 4.1 の注記はそのまま本表にも適用される。

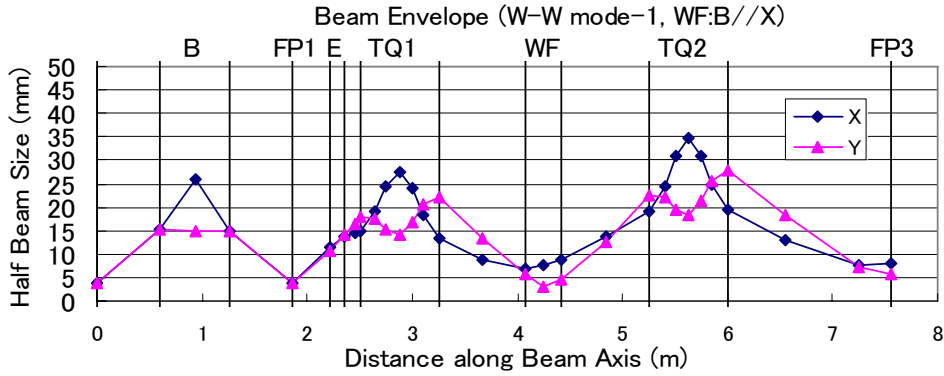


図 5.1 WF 最大強度設定 (B//x) で、W-W mode-1 でのビームサイズ
ビーム初期条件は第 2 節 3 項を参照のこと。

るが、W-W mode-2 (TQ1:D-F-D, TQ2:F-D-F) によるビーム輸送でも、ビームサイズは図 4.3 と殆ど変化しない。

これは x-方向に収束作用はなく、y-方向には WF 内でビームサイズが小さいために、ビームが受ける収束作用の影響が最小化されたためであると推測される。ただし、輸送行列を詳細に見てみると、何れの場合でも、WF 下流で(y|y)項は符号が反転する程の影響を受け、絶対値も大きくなっている。(y| ϕ)も WF 下流で変化しているが、符号を変えず絶対値は小さくなっている。結果的にこの両方の変化が互いのうち消し合って事実上ビームサイズを変えず、従って TQ2 強度にも影響が出ていないと判断される。WF 中心で waist を形成させることは、(y|y)項の大きな変化が (絶対値が変わらなければ) 直接ビームサイズに影響しない点で意味を持っていると

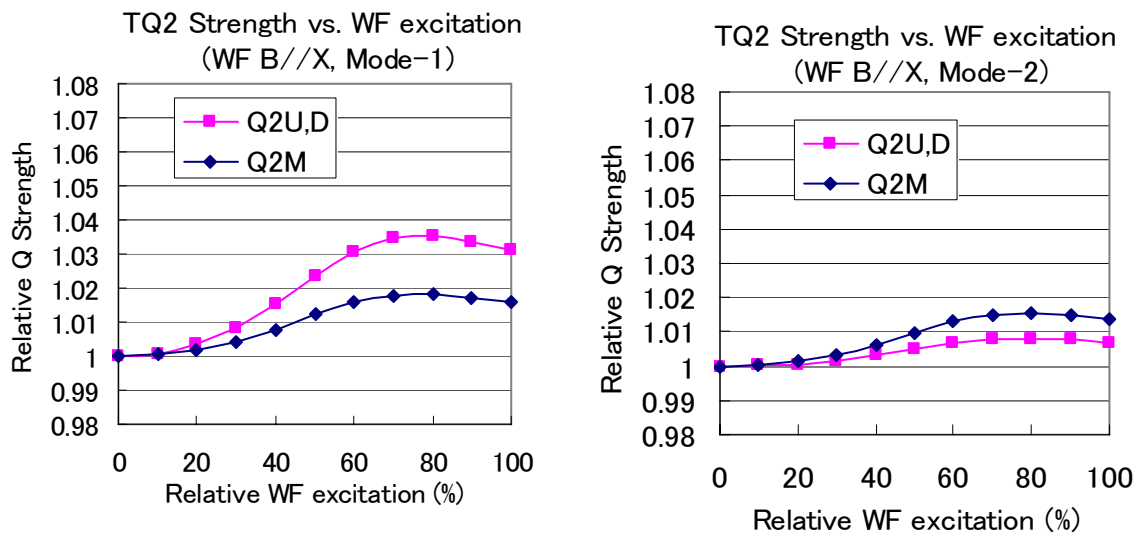


図 5.2 W-W mode のビーム輸送で、WF の強度変化に応じて必要な TQ2 印可電圧の相対変化
左図は mode-1 (TQ2:D-F-D)、右図は mode-2 (TQ2:F-D-F) に対応。

言える。

WF の場の強度変化に対して、W-W mode-1 及び W-W mode-2 に必要な TQ2 の相対的印可電圧の変化を図 5.2 に示す。WF 強度 100 % の変化に対して TQ2 に必要な変化は僅かに 4 % 以下の程度である。WF 強度に対応したビームサイズの変化は TQ2 内で y -方向にのみ（収束効果のある方向）見られるが、TQ2 内での最大 y -幅（半幅）は mode-1 で 4 mm 以下、mode-2 で 5 mm 以下で、実質的に変化しないと言っても良い。

5.2. WF内磁場 B_{WF} が y -軸（鉛直軸）に平行な場合（電場 E_{WF} は x -軸に平行）

この場合には、WF の収束効果は x -方向にある。WF の運転をしない状態では、図 4.2, 4.3 に見るように、WF 中心位置でのビーム幅は x -方向に大きいから、WF の効果は前節に見るよりは大きい可能性がある。W-W mode-1 (TQ1:D-F-D, TQ2:D-F-D) 及び W-W mode-2 (TQ1:D-F-D, TQ2:F-D-F) での TQ1, 2 の運転パラメーターとビームサイズを表 5.2 及び図 5.3 に掲げる。

図 5.3 から明らかのように、WF 最大強度設定においては、W-W mode-1 のビーム輸送では、TQ2 内でビームサイズは TQ2 のボア半径 50 mm を越えてしまい、W-W mode-2 で、ビームをボ

表 5.2. WF 最大強度設定($B//y$)における W-W mode での TQ1, TQ2 電場勾配

		TQ1			TQ2		
		U	M	D	U	M	D
電場勾配/ $Fp[m^2]$	mode-1	-18.669	16.951	-18.669	-15.253	15.654	-15.253
	mode-2	同上	同上	同上	15.787	-15.688	15.787

(注) 表 4.1 の注記はそのまま本表にも適用される。

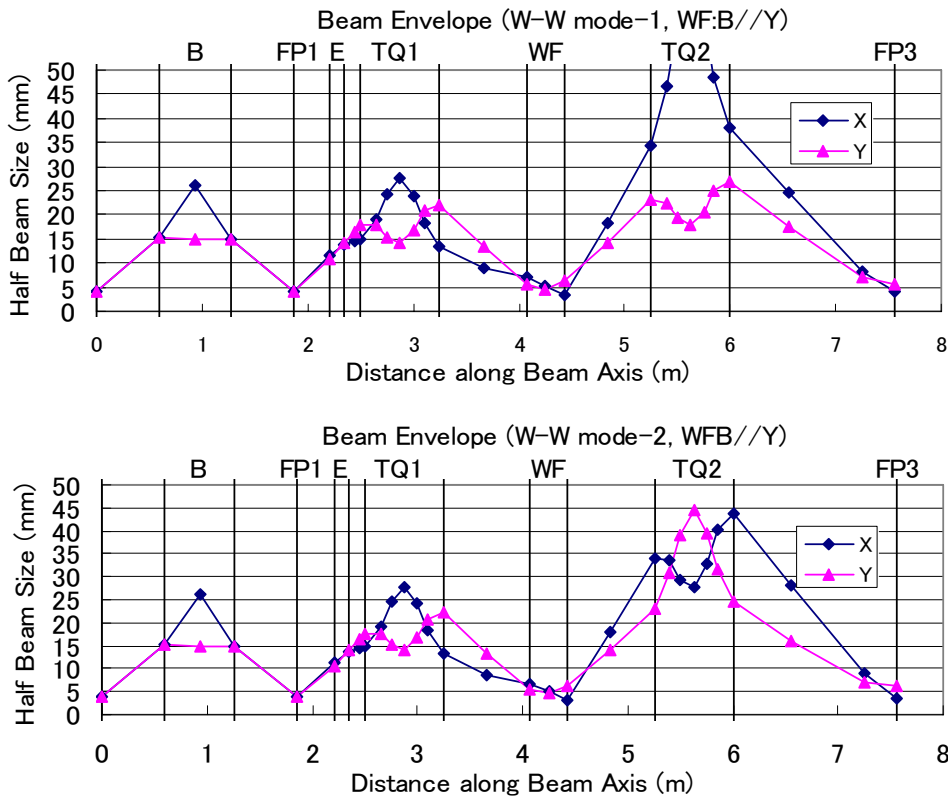


図 5.3 WF 最大強度設定で、W-W mode-1 (上) 及び W-W mode-2 (下) におけるビームサイズ
ビーム初期条件は第 2 節 3 項を参照のこと。

ア内に収めることができる。この場合も輸送行列要素を調べてみると、WF 下流で $(x|x)$ は符号を変えて絶対値が大きくなり、 $(x|\theta)$ も増大している。これらの変化は、(上述の場合と反対に)ビームサイズにおいて相加的であり、このためにFP3にwaistを作るためのTQ2の強度にも影響が出ることになる。即ち、WF磁場がy軸(鉛直軸)に平行な場合には、WFの設定強度に応じて、ビーム輸送系の最適の運転モードを選ぶ必要がある。

WFの設定強度に応じて、TQ2強度の相対変化及びビームサイズの変化を、W-W mode-1について図5.4に、W-W mode-2について図5.5に示しておく。WF内で収束作用を受けるx方向においてビームサイズの変化は大きく、最大幅変化は2倍強にも達する。また、系終端で、ビームx幅が10mmを越える場合もある。更に、必要なTQ2強度の変化も比較的大きく、最大16%

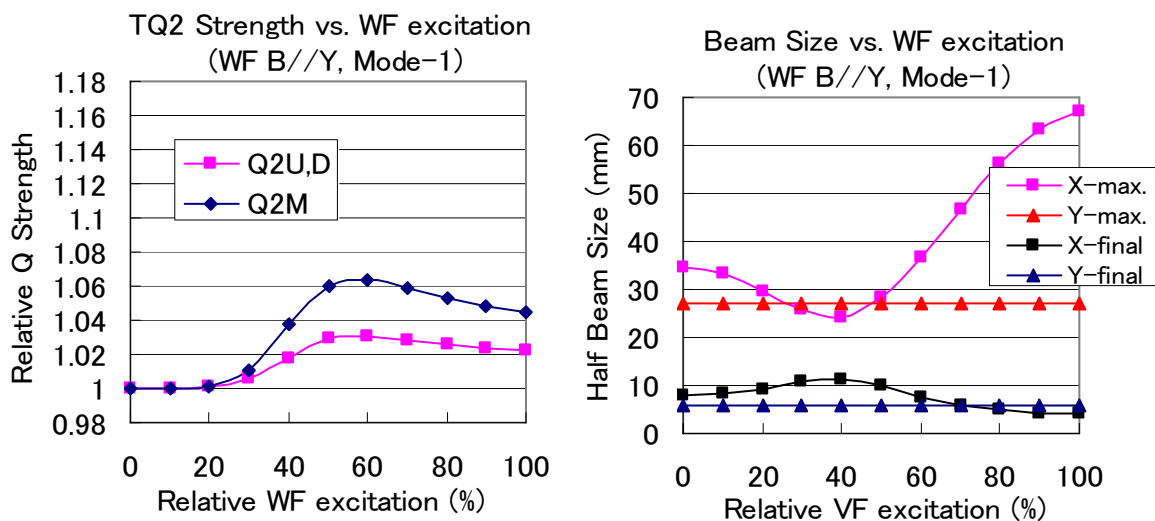


図 5.4. W-W mode-1 のビーム輸送で、WF の強度変化に応じて必要な TQ2 印可電圧の相対変化 (左) と、ビーム幅 (半幅) の変化 (右)

ビームの x-幅最大値が TQ2 中心で、y-幅最大値が TQ2 出口で得られるとした。ビーム初期条件は第 2 節 3 項を参照のこと。

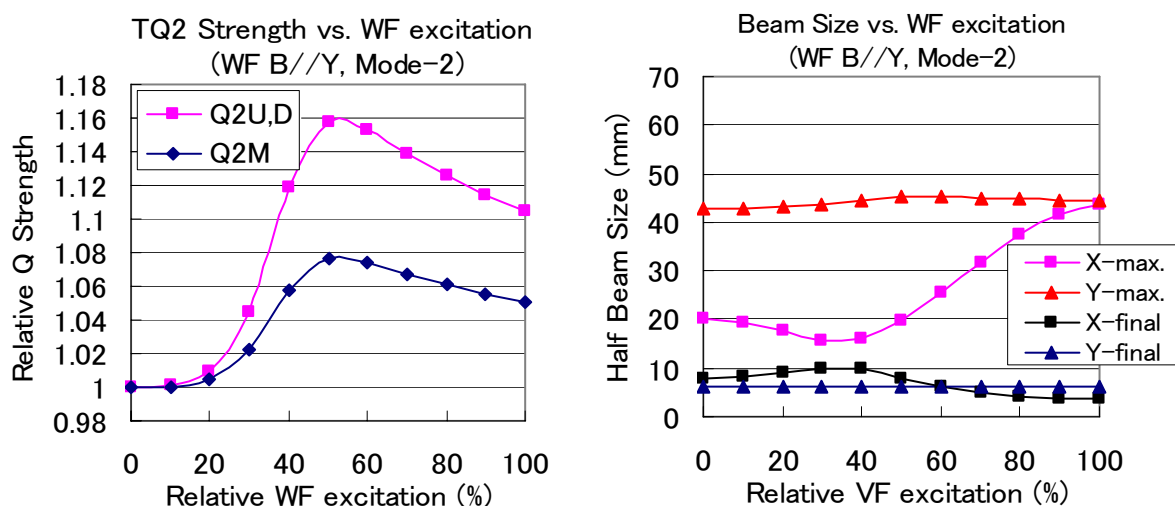


図 5.5. W-W mode-2 のビーム輸送で、WF の強度変化に応じて必要な TQ2 印可電圧の相対変化 (左) と、ビーム幅 (半幅) の変化 (右)

ビームの x-幅最大値が TQ2 出口で、y-幅最大値が TQ2 中心で得られるとした。その他、図 5.4 の caption 参照。

程度 (mode-1) になる。

このように、前節と較べて、運転パラメーターとビーム形状への影響が相対的に大きい (絶対的に大きいとは言えない) のが、WF 磁場が鉛直方向に向く場合の特徴である。輸送行列要素から見ると、収束効果の存在する方向の座標を含む要素、即ち $(x|x)$, $(x|\theta)$ 項への WF の影響が、絶対値を共に増加させるものであるためにこの違いが生まれている。輸送系の運転モードを W-W mode-1, -2 に限れば、最適の運転 mode は WF 設定強度に応じて、例えば図 5.4, 5.5 等を参照して決定すべきであろう。ビームサイズだけから言えば、小さい WF 強度では mode-1、大きい WF 強度では mode-2 の運転が望ましいと言えるかも知れない。

6. まとめと若干の議論

以上は、ECRIS からの引き出しビームの輸送系の設計に際して行ったイオン光学計算のまとめである。ただし、ウイーンフィルターの運転を含む部分は、本稿執筆に際して一部追加的な計算を行った。

S-B-FP1 は質量分析系をなすが、収束点 FP1 での質量/電荷比分散は 831 mm である。像倍率は 1 であるから、質量/電荷比分解能は分散値をビーム初期幅で除して得られる。FP1 以降の輸送系の運転 mode については表 6.1 の 3 通りについて考察した。

表 6. 1 ビーム輸送系運転モード

mode	focus condition			TQ1			TQ2		
	FP1	FP2	FP3	U	M	D	U	M	D
F-F mode(-1)	F	F	F	D	F	D	D	F	D
W-W mode-1	F	W	W	D	F	D	D	F	D
W-W mode-2	F	W	W	D	F	D	F	D	F

(注) focus condition: F, focus; W, waist, TQ1,2 運転: D, horizontally defocus; F, horizontally focus

ウイーンフィルターを運転しない状態では、F-F mode は TQ2 内及び系終端で若干大きいビーム幅を与えるが、これは W-W mode とすることで解消する。その中でも、W-W mode-1 が TQ2 内で最も小さいビーム幅を与える。

ウイーンフィルターWF を運転した場合には、WF の場の向きの設定によってビーム輸送系の性質は変わってくる。ウイーンフィルターの収束効果は磁場に直角な方向 (電場に平行な方向) にあるから、その方向の座標に影響を与える。ただし、その影響はウイーンフィルターWF でビーム幅を最小化することで最小化することが出来る。その意味で W-W mode は WF 運転に影響されにくい輸送系運転モードと言うことが出来る。

第 5 節には、WF 磁場が x -軸に平行な場合と、 y -軸に平行な場合について述べた。前者の場合においては、ビームサイズは WF 設定強度に依らずほぼ変化せず、必要な TQ2 レンズ強度の変化も僅か (4%以下) である。一方、後者の場合には、WF 設定強度によっては TQ2 の強度は最大 16%程度変更する必要がある、TQ2 内のビームサイズも W-W mode-1 で 2 倍強程度も変化する。このため、WF 設定強度によっては、mode-1 と mode-2 の間で最適の運転の選択をする必要がある。

ただし、何れの場合でも、WF 磁場に直角な方向 (電場の方向) の座標への影響は小さくない。WF 磁場が x -軸に平行な場合に見 WF の影響がないように見えるのは、たまたま行列要素の変

化がビームサイズへの効果を互いに打ち消し合ったためであるとも言える。WF の影響を最小ならしめるには、WF 中心の waist のサイズをできるだけ小さくすることが必要であろう。その際最も重要なのはビームの初期条件の内容である。本稿では第 2 節 3 項の初期条件を前提としたが、この前提が変われば、waist の内容（ビーム幅と角度幅の初期値の相対的な寄与）も変わり、その結果、WF の影響もまた変わるであろう。これは計算上であれ、実験的観測上であれ、同じである。その意味では、実験的にビーム初期条件を把握した後に、改めて WF の影響を検討し直すことが重要である。

WF の軸周りの設定角度の影響も検討すべき次項であるが、上記の事態を踏まえ、ビーム初期条件の実験データを得た後に、稿を改めて検討したい。

文献

- [1] A. Tamii, Wien Filter に関するメモ, Sept., 2004
- [2] S. morinobu, Wien Filter revisited, Sept., 2004

付録

F-F mode でのビーム輸送計算に用いた、コード ORBIT への入力例
(Wien Filter を運転しない状態で輸送行列を計算する場合のデータ)

```
DOUBLE FOCUS AT FP1 BY SYMMETRIC 1ST MAGNETIC DIPOLE (WF switched off)
DPRM
BEAM
    dispersion=3  order=1
DRFT L1
    L=0.62
DEFM D1A
    R=0.35 ANGL=55 N=0,0,0 A1=40.443,0 A2=0,0 A3=0,0 G=0.035 F=11
DEFM D1B
    R=0.35 ANGL=55 N=0,0,0 A1=0,40.443 A2=0,0 A3=0,0 G=0.035 F=21
DRFT FP1
    L=0.62
DRFT L2
    L=0.35
SENS
DEFE DE1
    R=0.4 A=20 N=-1,999,0 A2=0,0 G=0.02 F=6
SENS ED
DRFT L3
    L=0.1
DRFT L4
    L=0.05
QUDE Q1U
    L=0.15 KQ=-10 R=0.05 F=1
DRFT SQ1
    L=0.1
QUDE Q1A
    L=0.125 KQ=10 R=0.05 F=11
QUDE Q1B
    L=0.125 KQ=10 R=0.05 F=21
DRFT SQA
    L=0.1
QUDE Q1D
    L=0.15 KQ=-10 R=0.05 F=1
DRFT FD1
    L=0.4125
DRFT FD2
    L=0.4125
DRFT WFA
    L=0.175
DRFT WFB
    L=0.175
DRFT FD3
    L=0.4125
DRFT FD4
    L=0.4125
QUDE Q2U
    L=0.15 KQ=0.053 R=0.05 F=1
DRFT SQ2
    L=0.1
QUDE Q2A
```

```

L=0.125 KQ=0.053 R=0.05 F=11
QUDE Q2B
L=0.125 KQ=0.053 R=0.05 F=21
DRFT SQB
L=0.1
QUDE Q2D
L=0.15 KQ=-0.053 R=0.05 F=1
DRFT FD5
L=0.55
DRFT FD6
L=0.7
DRFT FP3
L=0.3
ENDS
DMIN
F=100 V=4 M=0 C=2 I=1000 L=0.0000001 P=1
FFF=A(FP1,X,A)**2+A(FP1,Y,B)**2
L1 1 0.6 0.01
FP1 1 0.6 0.01
D1A 6 40 0.01
D1B 7 40 0.01
1 -1 0 0
0 0 1 -1
DEND
FOCUS AT CENTER OF WIEN FILTER (WIEN FILTER SWITCHED OFF)
DMIN
F=100 V=4 M=0 C=2 I=1000 L=0.00000001 P=1
FFF=A(WFA,X,A)**2+A(WFA,Y,B)**2
Q1U 2 -10 0.1
Q1A 2 12 0.1
Q1B 2 12 0.1
Q1D 2 -10 0.1
1 0 0 -1
0 1 -1 0
DEND
FINAL FOCUS AT PF3 (WIEN FILTER SWITCHED OFF)
DMIN
F=100 V=4 M=29 C=2 I=1000 L=0.00000000001 P=1
FFF=A(X,A)**2+A(Y,B)**2
Q2U 2 -10 0.1
Q2A 2 10 0.1
Q2B 2 10 0.1
Q2D 2 -10 0.1
0 1 -1 0
1 0 0 -1
L1,D1A,D1B,FP1,L2,ED,L3,L4,Q1U,SQ1,Q1A,Q1B,SQA,Q1D,FD1,FD2,
WFA,WFB,FD3,FD4,Q2U,SQ2,Q2A,Q2B,SQB,Q2D,FD5,FD6,FP3
DEND
1

```