

SDTL チューニング (phase scan) (F16)

2003.2.16 T. Kato

SDTL 以降の電場のチューニングは、着目するタンクの電磁場を変化させて、time-of-flight によりビームの振る舞いを観測する事に帰着する。電磁場の変化の仕方、ビームの測定方法により、これまでに複数の方法が提案されている。複数の位相測定を行う場合には、それぞれの地点での位相の変化分をはかる場合（着目タンクの加速エネルギー量に相当する）と、二点の間の絶対位相差を測る場合（ビームエネルギーに相当）がある。

1. チューニング方法

1) \square -t method タンクをはさんだ 3 箇所での位相測定、RF は ON/OFF。

1) Phase scan signature matching タンク位相と下流 1 か所の位相測定、タンク位相を sweep。

これらの測定の精度は a few * 0.1% 程度との報告がなされている。

1) エネルギー絶対測定

最初の \square -t 法は LAMPF にて初めて行われた。わかりにくく、あまり直感的ではない。入射ビームの（安定位相からの）位相変移及び平均入射エネルギー変移と、着目タンク通過後の位相変移及びエネルギー変移とのビームダイナミクス上の関係を、加速電場をパラメータとして求め、着目タンクの RF の ON/OFF による位相差測定を繰り返して、最適パラメータを決める。この方法では、タンクの位相は決まるが、振幅を精度よく決めるには、phase scan を使う事を、original paper では提案している。

2 番目の phase scan 法は、タンクの位相を振り、出力ビームの位相をはかり、計算結果との比較（最小二乗法）により、必要なパラメータを決めようという方法である。ビーム位相測定は変化分でもよいし、位相測定の個数も少ないので、方法としては簡単である。その代わりに、測定の自動化が必須であり、解析コードの役割も重要である。

最後のエネルギー絶対測定は、2 箇所での位相測定の同時性を確保する事により得られる。この方法により必要な精度は決まらないとの昔の報告がある。機器の安定度が向上すれば、精度もあがると思われるので、要検討と思われる。

それぞれの方法の特徴を表1にまとめた。

表1 加速タンクチューニング法

	ϕ -t	Phase scan	絶対 Energy
Phase monitor	下流の2個	タンクと下流の1個	下流の2個
変化パラメータ	rf ON / OFF	rf phase scan	No
距離測定	D12	No	D12
位相測定	$\phi\phi 1, \phi\phi 2$	$\phi\phi$ tank, $\phi\phi$	($\phi 1 \phi\phi 2$)
データ処理	fitting	fitting	No

2. Phase scan

Phase scan の測定は次のようなものである。

- 1) タンク位相は 360 度以上 sweep する。360 度以上には特別の意味はないが、一般に fitting の精度があがる事、2 ϕ 変化後の再現性の確認ができる事など。
- 1) 下流の1箇所でのビーム位相の相対測定
- 1) タンク励振位相を変化させて、ビーム位相とタンク位相を測定する。
- 1) タンクレベルを測定する。
- 1) 計算結果との fitting により、入射ビームエネルギー、適正タンク振幅、適正タンク位相、出力ビームエネルギーを決める。

3. SDTL の場合の Phase scan の計算結果

SDTL の測定ユニットは、励振を単位とすれば2タンク毎(10セル)になる。縦振動の周期がこれより長いので、高周波位相を振ると、単一空洞の位相を変えた場合とほぼ同じ振る舞いとなる。電場振幅を 0.96 - 1.04 の間で変化させ、それぞれについて位相を scan した。計算は、粒子シミュレーションを使っているため、粒子の位相が2 ϕ 程度変化する場合の、処理法によるばらつきが結果にあらわれている。

- 1) SDTL-2 の計算結果

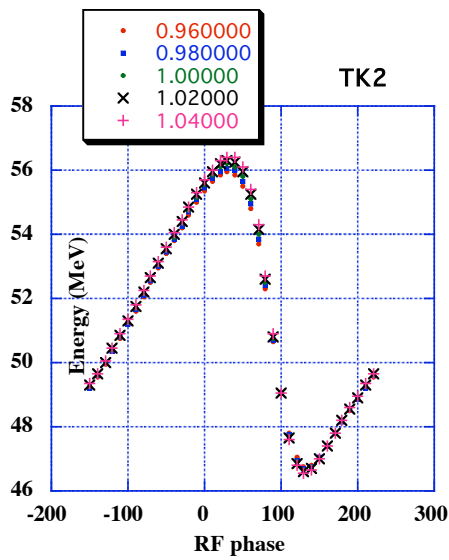


図1 SDTL-2 の出力位相。

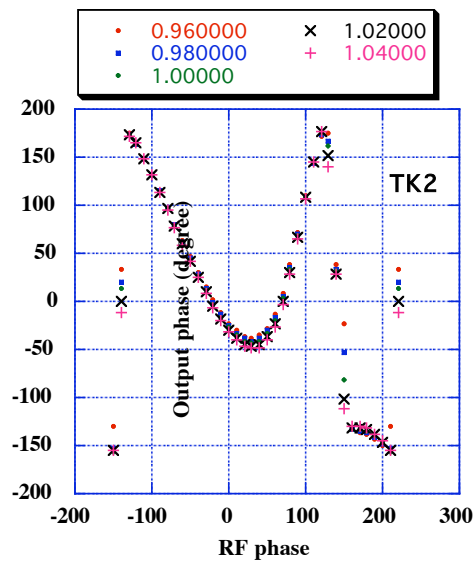


図2 SDTL-2 の出力エネルギー

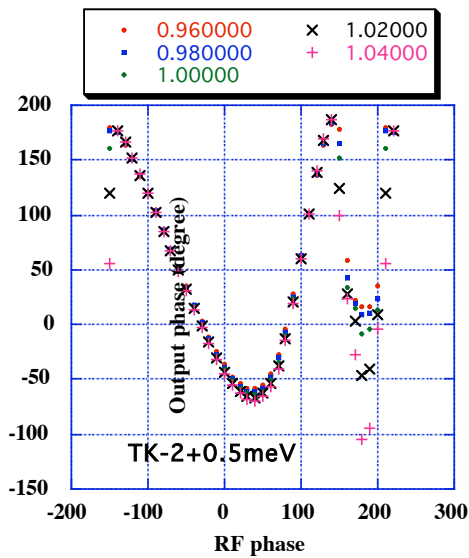


図3 入射エネルギーが 0.5 MeV 高い場合の SDTL-2 の出力位相。

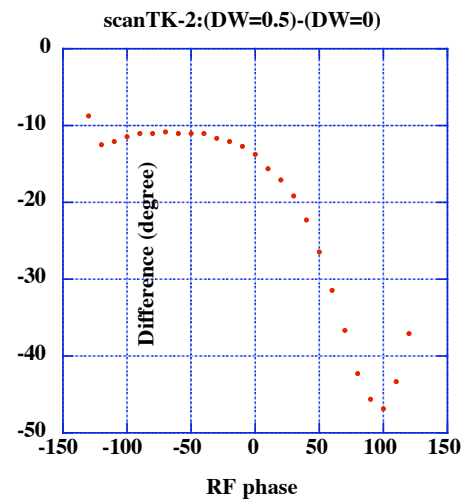


図4 図2と図3の差。電場=1.0。

図4より、50 MeVにおいて、入射エネルギー500 keVの差は、タンク出口の位相差10度以上を生み出すので、0.1%の精度で入射エネルギーを知る事は難しくはない。

1) SDTL-3 2 の計算結果

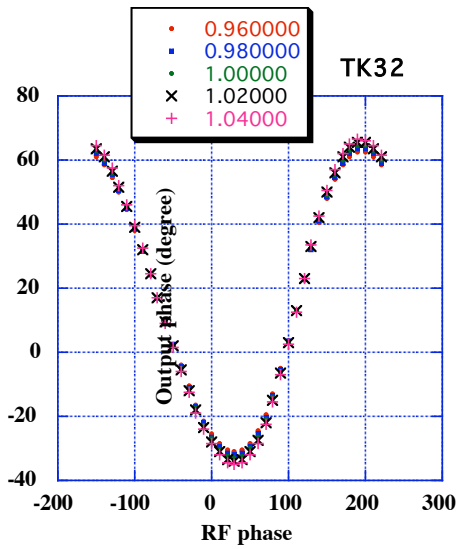


図5 SDTL-32 の出力位相。

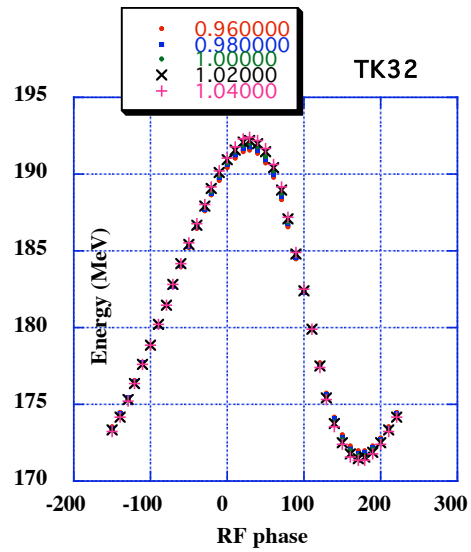


図6 SDTL-32 の出力エネルギー

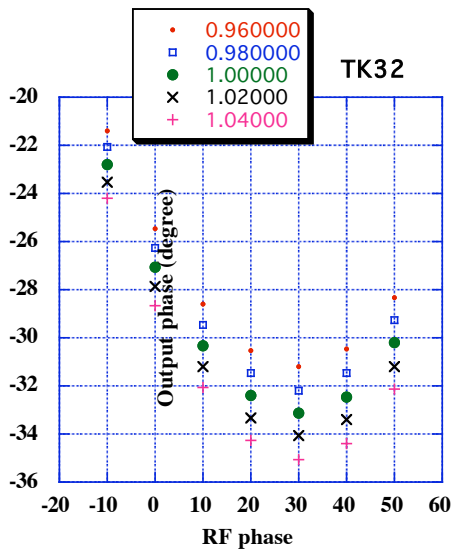


図7 SDTL-32 の出力位相詳細。

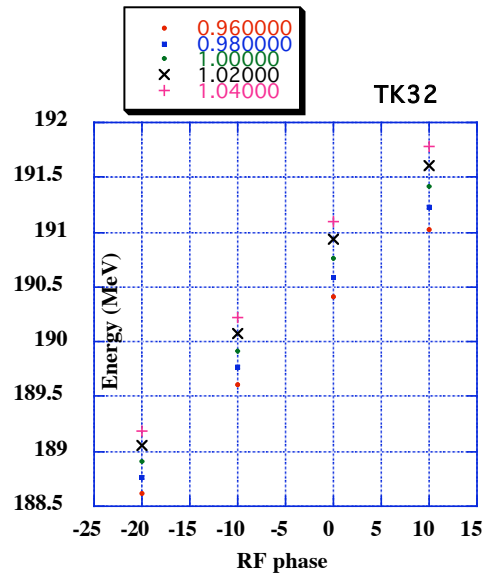


図8 SDTL-32 の出力エネルギー詳細。

4. エネルギー絶対測定

位相測定精度を $\pm 1^\circ$ としたときに、必要エネルギー分解能 ($1E-4$ 及び $2.5E-4$ とした) を得るための、2 個の位相モニターの距離を表2にした。長さ測定の精度(ΔL)は、各エネルギーにおいて、位相エラーと同じ効果を与える値にした。

表2 エネルギー絶対測定のパラメータ。

Energy (MeV)	$\square K/K=1E-4$ Length (m)	$\square K/K=2.5E-4$ Length (m)	$\square K/K=2.5E-4$ $\square W$ (keV)	$\square L$ (m)
3	8.235	3.294	0.75	0.00020
20	21.551	8.621	5	0.00052
37	29.708	11.883	9.25	0.00070
50	34.887	13.955	12.5	0.00081
75	43.561	17.424	18.75	0.00097
100	51.268	20.507	25	0.00110
150	65.186	26.074	37.5	0.00130
190	75.544	30.218	47.5	0.00143
300	102.598	41.039	75	0.00168
400	126.720	50.688	100	0.00183

5. SDTL の縦振動

図3の時（入射エネルギーが 0.5 MeV 高い）の、平均エネルギーの変化の様子を、図9に示す。

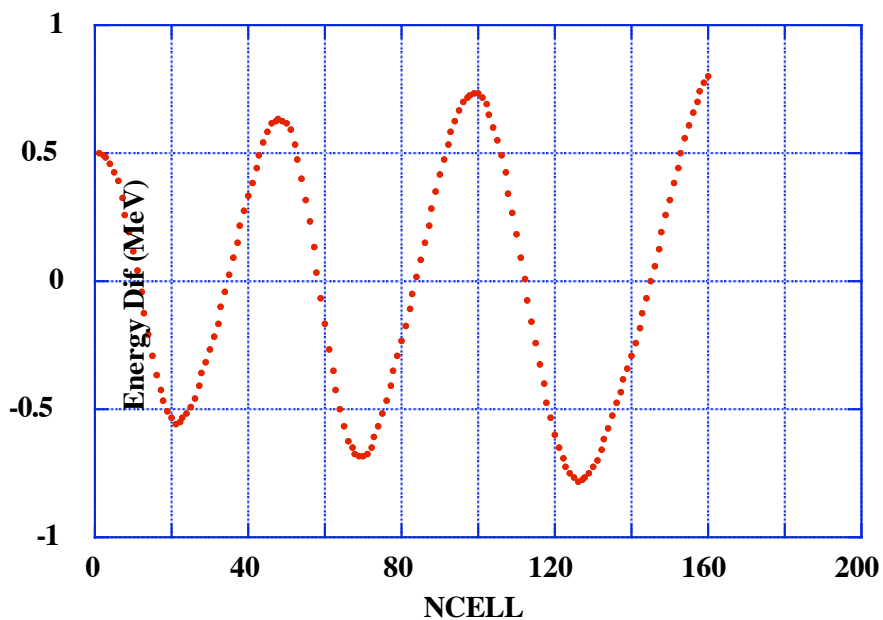


図9 平均エネルギーの振動。

まとめ

リニアックのコミッショニングでは、各タンク加速電場設定のための測定システム全体をどのように作るかが、極めて重要であり、その出来具合により、コミッショニングの効率が左右されると思われる。これからの重点課題とする。

References

1. K. R. Crandall, "The Dt Tuneup Procedure for the LAMPF 805-MHz Linac," LA-6374-MS (1976).
2. K.Crandall et al., "The Dt Turn-on Procedure," 1972 Proton Linac Conf., 122(1972).
3. T. L.Owens and E. S. McCrory,"The Delta-T Tuneup Procedure for the Fermilab Linac Upgrade," 1991 PAC, 3064.
4. T. L.Owens and E. S. McCrory,"The Delta-T Tuneup Procedure for the Fermilab Linac Upgrade," 1992 Linac Conf?, 721(1992).
5. F. W. Guy et al., "Least-Squares Fitting Procedure for Setting RF Phase and Amplitude in Drift-Tube-Linac Tanks," 1991 PAC, 3056.
6. New Features of the Dt-Procedure for an Intensive Ion Linac," G. A. Dubinsky et al., 1988 LAC, 666.
7. T. L.Owens et al., "Phase Scan Signature Matching for Linac Tuning," Particle Accelerators **48**, 169(1994).
8. T. L.Owens et al., "Phase Scan Signature Matching for Linac Tuning," 1994 Linac Conf., 893(1994).
9. T. L.Owens and M. B. Popovic, "Phase Scan Signature Matching for Linac Tuning," Fermilab Report LU-186(1992).
10. T. L.Owens et al., "Phase Scan Signature Matching for Linac Tuning," PAC 1993, 1691(1993).
11. N. I. Golubeva et al., "Problems of the Beam Loss in Intence Ion Linear Accelerators," 1988 Linac Conf., 669(1988).
12. S. K. Esin et al., "Commissioning/Operation of the Moscow Meson Factory Linac," 1994 Linac Conf., p.31.