

LONGITUDINAL TUNING SCHEMES FOR J-PARC DTL AND SDTL

Masanori Ikegami^{1,A)}, Yasuhiro Kondo^{B)}, Akira Ueno^{B)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

^{B)} Japan Atomic Energy Research Institute

2-4 Shirakata-shirane, Tokai, Naka, Ibaraki 319-1195

Abstract

In the beam commissioning of J-PARC linac, it is essential to precisely tune RF phase and amplitude of RF cavities based on beam-phase or beam-energy measurements. In this paper, planned tuning schemes for DTL and SDTL are presented together with the beam diagnostics layout to realize the tuning.

J-PARC DTL/SDTL空洞の縦チューニングの方法

1. はじめに

J-PARCリニアックは、50keVの負水素イオン源、3MeVのRFQ型リニアック、50MeVのDTL型リニアック、190MeVのSDTL型リニアック、400MeVのACS型リニアックから構成される[1,2]。RFQ, DTL, SDTLの運転周波数は324MHz、ACSの運転周波数は972MHzである。大強度陽子リニアックにおいては、ビームロスやビームの質の劣化を抑えるために、空洞のRF位相と振幅を精密にチューニングすることが不可欠である。J-PARCのリニアックについては、下流のRCS (Rapid Cycling Synchrotron) へ効率よく入射を行うため、入射点における運動量広がりに関する要求が厳しく(中心運動量の時間的な揺らぎも含め $\pm 0.1\%$ 以内)、その要求を満たすために、とくに精密なRFチューニングが要求される。そのため、RFチューニングの目標は位相について ± 1 度以内、振幅について $\pm 1\%$ 以内と設定された。この目標を達成するために、各加速空洞のRF位相と振幅について、ビームコミッショニング時に、ビーム計測に基づいて最終的なチューニングを行う。

本稿では、J-PARCのDTL型空洞およびSDTL型空洞について、計画されているチューニング方法と、それを実現するためのビーム測定系のレイアウトについて述べる。J-PARCリニアックは、3台のDTL型空洞と、32台のSDTL型空洞を有する。各DTL型空洞は、それぞれ1台の3MWクライストロンで駆動され、SDTL型空洞は、隣り合う2台の空洞が1台の3MWクライストロンで駆動される。ビーム計測に基づいてチューニングを行うのはクライストロンの位相と振幅である。1台のクライストロンで駆動される2台のSDTL型空洞間の相対的な位相と振幅は、ビームコミッショニングに先立ち、RF計測などをと、あらかじめチューニングしておく必要がある。本稿では、ビーム計測に基づく最終チューニングについてのみ述べることとし、この2台のSDTL型

空洞間のチューニングについては触れない。

2. チューニング方法

RF空洞の位相と振幅のチューニングにおいては、位相走査法 (phase scan method) が広く用いられる[3]。位相走査法の中にも様々なバリエーションがあるが、J-PARCリニアックのチューニングには、次の3つの方法を用いることを計画している。

方法1：空洞出口のビームの位相を測定しながら空洞の位相と振幅を走査し、その測定値をもとに、最適な空洞の位相と振幅を決定する。ビームの位相測定には、FCT (Fast Current Transformer) を用い、空洞の位相を走査した際のビーム位相の相対的な変化を用いて、チューニングを行う。

方法2：空洞出口のビームのエネルギーを測定しながら空洞の位相と振幅を走査し、その測定値をもとに、最適な空洞の位相と振幅を決定する。空洞下流に設置された2台のFCTを用いて、TOF (Time Of Flight) 測定を行うことにより、ビームのエネルギーを測定する。位相を走査した際のビームエネルギーの相対的な変化を用いて、チューニングを行う。

方法3：基本的に方法2と同じだが、測定したビームエネルギーの絶対値を用いてチューニングを行う。

J-PARCリニアックでは、方法2, 方法3に用いる2台のFCTは、下流の空洞を挟んで設置する必要があり、挟まれた空洞がTOF測定に与える影響を抑えるために、その空洞をデチューンする必要がある。このことを考慮すると、上記の3つの方法のうち、方法1が最も好ましく、方法3が最も好ましくないことは明らかであるが、どの方法を適用することができるかは、空洞の特性に強く依存することが知られている。そのため、採用するチューニング方法を決定するにあたり、各空洞に対する各方法の適用可能性を、PARMILA[4]を用いたシミュレーションを

¹ E-mail: masanori.ikegami@kek.jp

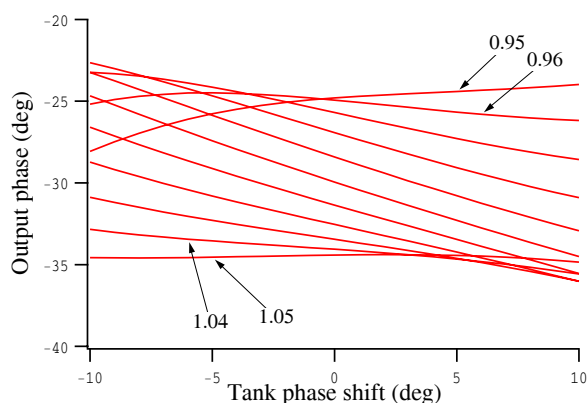


図1. DTL1の位相走査曲線 (方法1)

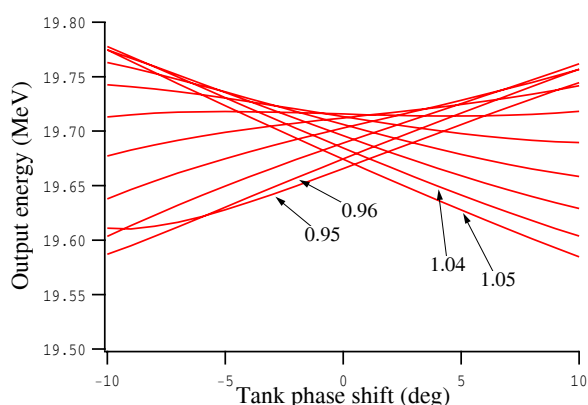


図2. DTL1の位相走査曲線 (方法2)

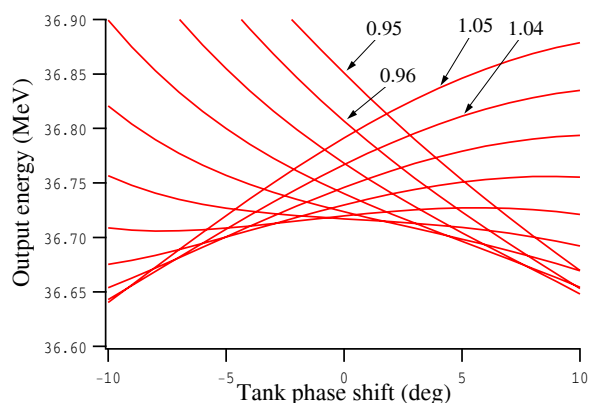


図3. DTL2の位相走査曲線 (方法2)

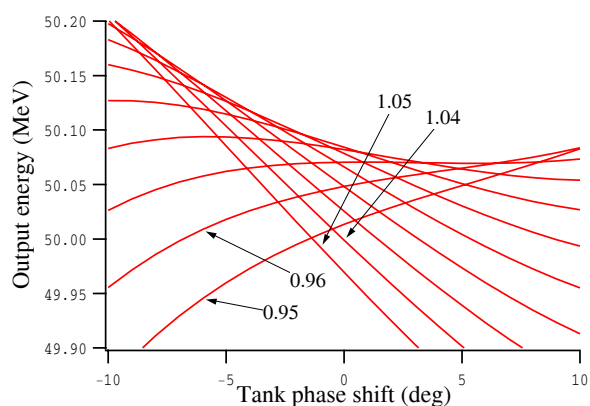


図4. DTL3の位相走査曲線 (方法2)

行うことにより調べた。

3. DTL型空洞のチューニング

3.1 DTL1のチューニング

DTL1 (最上流のDTL型空洞) については、方法1を用いてチューニングを行う予定である。図1に、PARMILAで得られたDTL1の位相走査曲線を示す。図2では、方法1を用い、11の異なるRF振幅で位相走査を行ったときに得られる曲線が示されている。図中で、0.95と示された曲線は、RF振幅がデザイン値の0.95倍のときに得られる位相走査曲線である。図2から、RF振幅がデザイン値の0.955倍程度の時、図の右側で曲線がフラットになり (位相の変化に鈍感になり)、1.045倍付近で図の左側でフラットになることがわかる。これらの特徴的な曲線を用いて、まずRF振幅の校正を行う。RF振幅の校正ができれば、異なるRF振幅の2つの位相走査曲線の交点を用いて、RF位相の校正ができる。この位相の校正を行う際には、その精度を上げるため、大きな交差角をもつ2つの位相走査曲線を選ぶ必要がある。上記の方法でRF位相および振幅のチューニングを行うためには、1度以内の測定分解能でビーム位相を測定する必要がある。

DTL1は、方法2を用いてチューニングすることも可能である。図2は、方法2を用いてDTL1のチューニングを行った場合の位相走査曲線 (PARMILAによるシミュレーション) を示したものである。図3より、ほぼデザイン値のRF振幅のとき、広い範囲に渡って曲線がフラットになることがわかる。この特徴を用いてRF振幅の校正を行えば、異なるRF振幅の2つの位相走査曲線の交点を用いて、RF位相の校正も行える。DTL1を方法2でチューニングする場合には、10keV程度の分解能でビームエネルギーを測定する必要がある。

3.2 DTL2とDTL3

DTL2とDTL3のチューニングには、方法2を用いる予定である。図3と図4はそれぞれ方法2を用いてDTL2とDTL3のチューニングを行った場合の位相走査曲線 (PARMILAによるシミュレーション) を示したものである。図3から、DTL2では、RF振幅がデザイン値の1.005倍程度になったときに、広い位相範囲に渡って位相走査曲線がフラットになることがわかる。また、図4から、DTL3の位相走査曲線は、RF振幅がデザイン値の0.97倍程度になったときに広い位相範囲に渡ってフラットになることがわかる。これらの特徴を利用してRF振幅の校正を行ったのち、DTL1のときと同様にしてRF位相の校

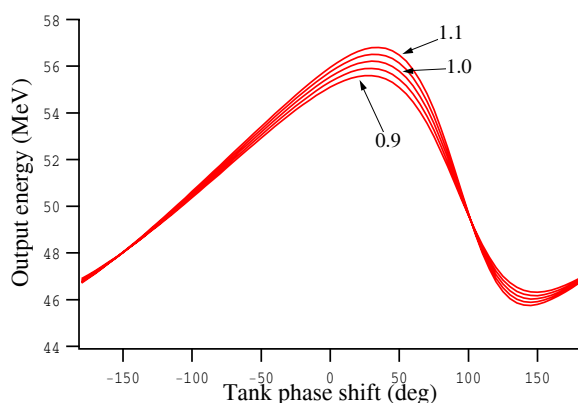


図 5. SDTL1-2の位相走査曲線 (方法 3)

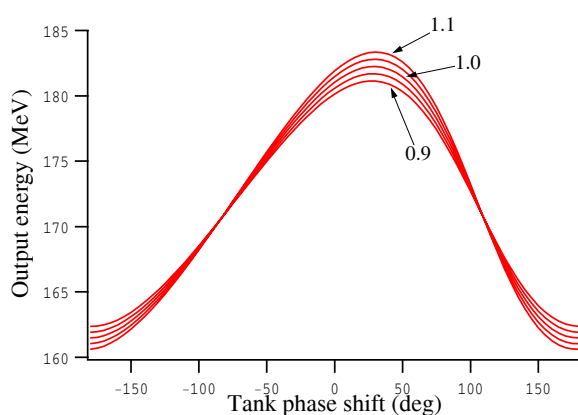


図 6. SDTL29-30の位相走査曲線 (方法 3)

正を行うことにより、DTL2とDTL3のチューニングを行うことができる。DTL2とDTL3をこの方法でチューニングする場合には、10~20keV程度の分解能でビームエネルギーを測定する必要がある。

4. SDTL型空洞のチューニング

前節で示したように、方法1または方法2によるチューニングを行うためには、その位相走査曲線が、動作点の近傍で、フラットな部分や大きな交差角をもった交点をもつことが必要である。しかし、図5および図6に示すように、SDTL型空洞の位相走査曲線はその形状がサイン曲線に近く、フラットな部分や大きな交差角をもった交点は存在しない。そのため、我々は、方法3を用いてSDTL型空洞のチューニングを行うこととした。図5および図6は、それぞれSDTL1-2 (最上流のSDTLモジュール) とSDTL29-30 (181MeV運転時の最下流のSDTLモジュール) について、PARMILAを用いて得られた位相走査曲線である。方法3では、より広い位相範囲 (360度) で位相走査を行い、エネルギーゲインの最大値と最小値を測定することでRF振幅の校正を行う。RF振幅のチューニングを行ったのち、エネルギーゲインを設計値に合わせることでRF位相のチューニングを行う。このチューニングを行うた

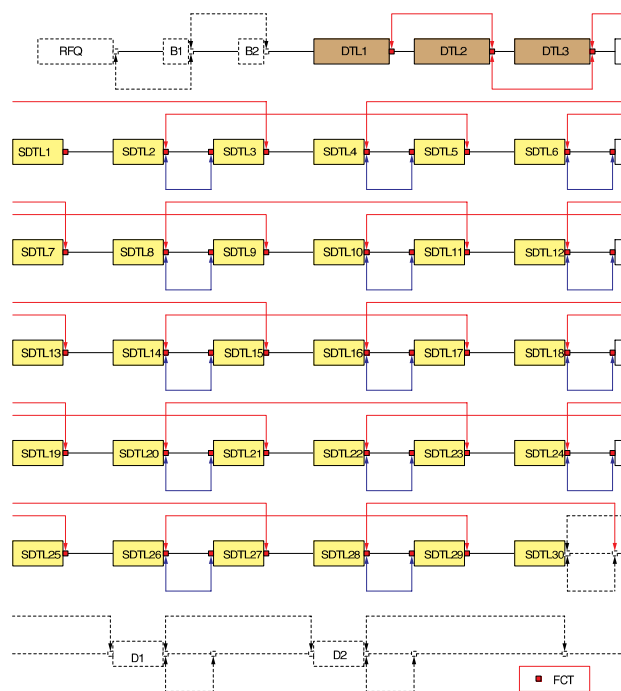


図 7. DTL部、SDTL部のFCTのレイアウト

めには、 $\pm 0.1\%$ 以内の精度でビームエネルギーの絶対測定を行う必要がある。

5. FCTのレイアウト

上で述べたRFチューニングを実現するために、DTL部およびSDTL部に33台のFCTを設置することを計画している。このFCTのレイアウトを図7に示す。図7中には、TOF測定に用いるFCTのペアを赤色の矢印で表してある。SDTL部では、必要なエネルギー測定精度を得るため、3台のSDTL型空洞を挟んでTOF測定を行う。測定の間、TOF測定への影響を抑えるため、この3台のSDTL型空洞はデチューンする必要がある。必要なTOF測定の精度を確保するため、FCT間の距離は、レーザートラッカーを用いて0.2mm以内の精度で測定する予定である。

参考文献

- [1] Y. Yamazaki, "The JAERI-KEK Joint Project for the High-Intensity Proton Accelerator, J-PARC", in Procs. of PAC2003, p. 576 (2003).
- [2] Y. Yamazaki ed., "Accelerator Technical Design Report", KEK Report 2002-13; JAERI Tech 2003-044.
- [3] For example, D. Jeon et.al., "Longitudinal Tune-up of SNS Normal Conducting Linac", in Procs. of LINAC2002, p. 370 (2002).
- [4] H. Takeda, "PARMILA", Los Alamos National Laboratory Report LA-UR-98-4487 (1998).