

NEW LATTICE MODEL OF NewSUBARU

Yoshihiko Shoji #, A)

A) LASTI, University of Hyogo

1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

Abstract

The linear lattice model of NewSUBARU storage ring was renewed based on the new ring parameter measurements. The old model accepted unreasonable assumptions in order to reproduce the achromatic condition and the betatron tunes of the real machine. In return, the beta function of the model was considerably different from the measured. It was roughly half of the measured at the worst location, the center of the long straight section. In the new model the accuracy was improved and the error of the beta function was about 10% or less. The most important parameter measurement was the determination of achromatic condition. The measurements proved that the acceptance of a unreasonable assumption was unavoidable.

ニュースバルの線形ラティスマデル

1. はじめに

一般にシンクロトロン線の線形ラティスは、設計時の設定そのままが実現する事は少なく、ほとんどの場合に実機のベータ関数などを測定して計算モデルを修正する。ニュースバルにおいても同様だが、2002年に作成した不正確なモデル^[1]が最近に至るまで使用されてきた。より正確なモデルの構築は十年来の課題であったが、2011年になって漸く実行する事ができた。

旧モデルは、Q-magnetのeffective lengthをfamily毎にパラメーターとして調整し、放射光利用運転時の設定で下記条件がほぼ実機と一致するようにしたモデルである。その条件は (1) Tune (2) Tune control に使う Q family (Q1 と Q2) 位置の平均 β , (3) achromatic condition、である。ところが、同じボア径 $\phi=70\text{mm}$ の Q magnet に対してヨーク長と実効長の差 $\Delta L=L_{\text{EFF}}-L_{\text{YOKE}}$ が 17~33mm の範囲でばらばらに設定されており、reasonable とは言い難い。結果としてベータ関数も実機と大きな差ができていて β_x が実機の約半分という位置さえある事が判っていた。この問題が長期間解決できなかった理由は、 ΔL を全 family で共通に設定すると(A) 実測の achromatic condition をモデルで再現できず、(B) vertical tune が実測より遥かに大きくなってしまったからである。Fig.1 は、全 family 共通の ΔL を仮定したモデルの tune と、実測 tune である。これらはモデルで考慮していない収束要素の存在を示唆しており、その特定が未解決の課題であった。

一方で ring parameter の測定は屢々行われてきており^[2]、Q-magnet を使ったベータ関数測定、ローカルバンブ閉軌道設定の測定、ステアリング応答の測定などが行われたが、実機とモデルの差を合理的に説明するには至らなかった。最近になって、ステアリング応答測定精度も、蓄積リングの温度安定化^[3, 4]によって向上した。更に single-pass BPM によるコ

ヒーレント振動測定と、achromatic condition の測定も行い、これらのデータを使って十年来の課題である、信頼性の高いモデルの構築を行った。

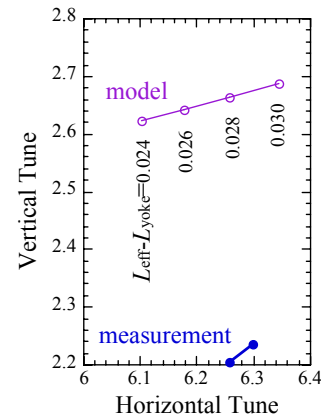


Fig. 1: モデルと実測のベータトロン振動数。モデルは仮定した Q 電磁石実効長に依存し、実測値は測定時期によるばらつきがある。

2. リングパラメーター測定

2.1 Linear lattice の基本構成

ニュースバル電子蓄積リングは2本の長直線部を持つレーストラック型で、偏向セル数は6である。蓄積リングの平面図を Fig.2、リング 1/4 周の Twiss parameter と dispersion function (旧モデル) を Fig.3 に示す。偏向セルは DBA の中央に逆偏向電磁石を加えた特殊な設計である。Q-magnet family の構成と旧モデルで使用しているパラメーターを Table I に示す。磁石配置は3種の区画、dispersion section (DS)、short straight section (SSS)、long straight section (LSS)、毎に family に分かれる。

shoji@lasti.u-hyogo.ac.jp

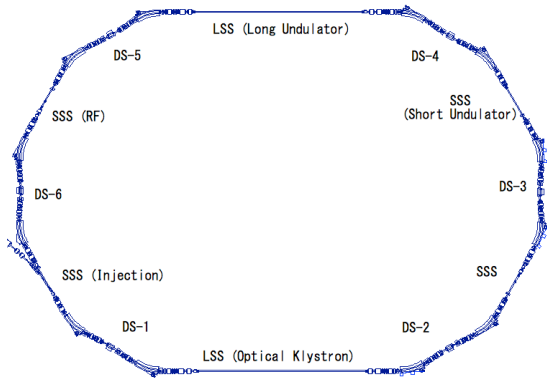


Fig. 2 : Flat view of the NewSUBARU storage ring.

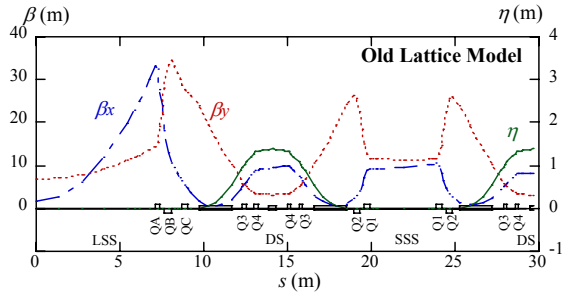


Fig. 3: Lattice parameters of 1/4 of NewSUBARU.

Table I: Quadrupole magnet parameters in the old model.

Ring Section	Dispersion Section (DS)		Short Straight Section (SSS)		long Straight section (LSS)		
	Q3	Q4	Q1	Q2	QA	QC	QB
Q family	0.18		0.28		0.38		
L_{YOKE} (m)	0.18		0.28		0.38		
ΔL (mm)	Old	32.6 32.7	26.1	16.7	24.4	22.2	
	Meas	36.3		35.9			34.6
	New	29.4 29.3	28.2	24.2	28 26	20.7	
G/I T/m/A	Old	47.284		47.423		48.556	
	Meas	46.7					

2.2 Linear parameter の測定

Steering 応答の測定から、BPM と steering 位置のベータ関数と位相が得られる^[5]。但し、水平 steering magnets は 3 種類あり、その kick 量については近隣電磁石との干渉効果が未検討なので、未知のパラメーターとして残す。Vertical steering については 3 次元磁場計算によって、近隣の電磁石との干渉効果も解っているので、既知である^[6]。

入射キッカーで励起したベータトロン振動の測定からは、BPM 位置の水平方向のベータ関数と BPM 間の位相差が得られる^[7]。垂直方向のキッカーが無いので、測定は水平方向だけである。

Q-magnet の設定変更に対する tune 変化からは、同一 family に属する Q magnet 位置の平均ベータ関数が得られる。

上記の測定結果を纏めたものが Fig. 4 である。ベータ関数は旧モデルの計算値に対する比で示し、位相は旧モデルの計算位相との差で示した。異なる測定方法による結果が一致しており、測定結果は信頼できると考えられる。

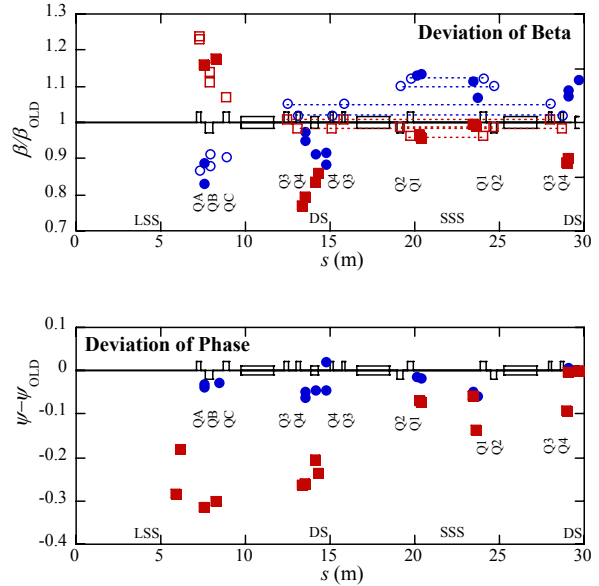


Fig. 4 : ベータ関数と位相の、旧モデル計算値からのずれ。丸と四角のシンボルはそれぞれ水平と垂直方向を、中空は Qmagnet 位置、その他は BPM またはステアリング位置である。Q magnet は family 毎の測定なので、同一 family を点線で連結して示した。

2.3 Achromatic condition の測定

この報告の特徴は achromatic condition の測定で、これが新モデル構築に重要な役割を果たした。この測定対象は DS に限定されるので、未知の要素を特定するのに有効である。ニュースバルの DS の構成はすべて同じで、achromatic condition で α_p を与えれば 2 つの Q family Q3 と Q4 の強さが一意的に決まる。つまり straight section のモデルと無関係な測定ができる。

測定結果を旧モデル計算と比較したものが Fig. 5 である。

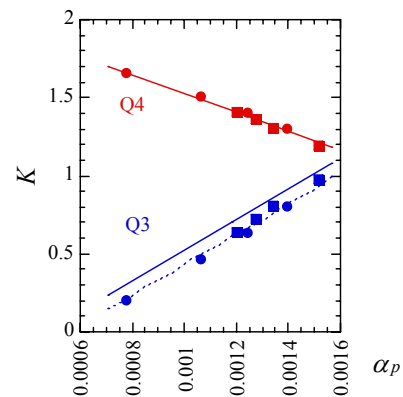


Fig. 5: α_p に対する Q3 と Q4 の強さ(K)。実線がモデル計算($L_{\text{eff}}=L_{\text{yoke}}+0.027\text{m}$)で、シンボルが実測値。Q3 の実測値は計算値から 0.08 減 (破線) と合う。

3. 新モデル構築

3.1 DS (Dispersion Section) のモデル化

Fig. 5 は、実質的に実効長の伸び ΔL は 0.027m 程度であり、更に実機の Q3 が $K=0.08$ 相当弱い事を示している。オフセットの原因として下記項目を定量的に評価したが、いずれも小さくて観測結果を説明できない。

- 残留磁場 (最大定格励磁後) $K=0.02$
- 6 極電磁石位置の軌道オフセット $K=0.004$
- 電磁石電源の電流オフセット $K=0.007$
- 変更電磁石の歪みによる集束 $K<0.003$

原因不明ではあるが、このオフセットは認めて、新モデルに導入する。この様に、説明がつかない仮定を認めないと実測を説明できない。

3.2 LSS (Long Straight Section) の解析

LSS の β 関数は、Q-magnet の設定に大きな変更が無い限り LSS 中央($s=0$)の β (これを β_c とする)で決まってしまう。集束要素の無い直線部が 14m 以上ある為、ベータトロン位相も β_c に強く依存する。Fig. 6 は仮定した β_c に対する β と位相 ψ を示したものである。水平、垂直共に、にベータトロン位相の測定値は、 β 関数の測定値よりも高めの β 関数に合っていて、 β と ψ の測定結果に整合性はとれている。

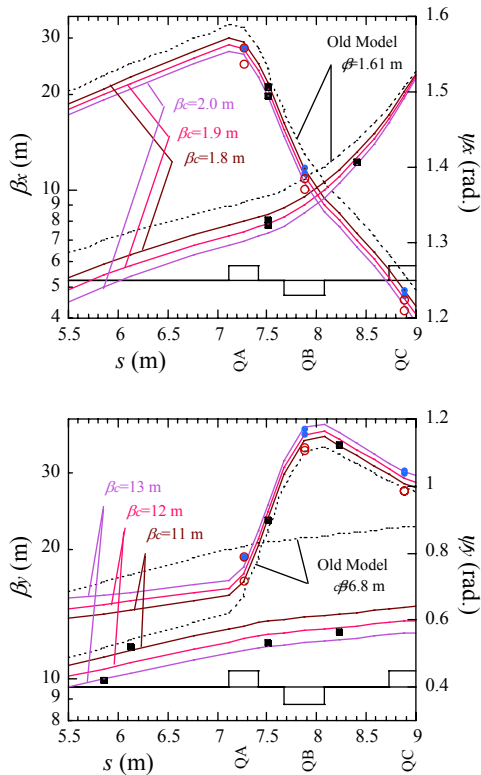


Fig. 6: Beta function and betatron phase at LSS for various β_c (β at the center of LSS). Symbols are measured values.

3.3 実効長の再検討

まず実効長を磁場測定値に合わせ、 L_{YOKE} 毎の G/I を、achromatic condition と tune が実測に合うように設定する。この状態で計算した β を Fig. 7 に実線で示す。実測に合う方向だが、変化が過大である。

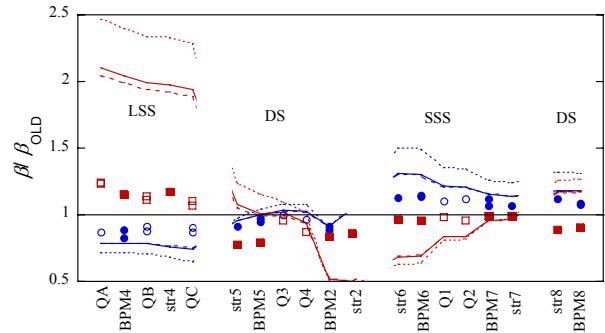


Fig. 7: 旧モデル β_{OLD} に対する β 。水平と垂直の実測値を丸と四角のシンボルで、検討中のモデルによる計算値を実線(実効長を揃えた)と破線 (ソフトエッジ)、点線 (近隣ヨークの影響考慮) で示す。

精度を上げ、Q-magnet の縁の磁場勾配分布を Fig. 8 のように仮定した ($\Delta L=35\text{mm}$)。計算結果は Fig.7 の破線で、改善方向だが影響は微量である。

更に精度を上げ、近隣の電磁石ヨークとの干渉によって、磁場勾配 10%の裾の部分の部分が短くなると仮定した。ヨーク間 120mm に対しては、20mm (実効長-2.0mm 相当)、130mm に対しては 18mm 磁場領域を減らして計算した。干渉を考慮した edge の位置を Fig.9 に示す。計算結果が Fig. 7 の点線で、実測からはむしろ離れてしまった。モデルを実機に合わせるには、ここでも不自然な仮定が不可欠となる。

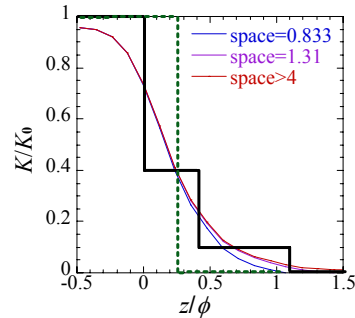


Fig. 8 : Q magnet の soft edge model。細線が磁場分布計算、破線が hard edge model ($\Delta L=35\text{mm}$)、太実線が最終的に用いた soft edge model。

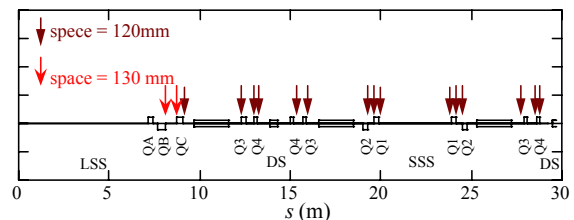


Fig. 9: 近隣ヨークとの干渉を考慮した Q-magnet edge を矢印で示す。実効長の減少は、茶色と朱色の矢印に対してそれぞれ 2.0mm と 1.8mm 相当。

3.4 モデルの簡略化

Fig. 8 の "soft edge model" は影響が小さいので、従来の "hard edge model" に戻して、モデル構築を行う事にする。

Family 毎に Q の実行長を変えてモデル計算を行い、問題のある family を特定することにした。但し DS の Q3, Q4 は achromatic condition の制限があるので固定である。その結果、Q1 family の実行長を 2mm 伸ばし、逆に Q2 family の実行長を 2mm 縮小する事で実測ベータ関数をほぼ再現させる事ができた。他の family の実効長を変えても実測ベータ関数に近づけない。

G/I として Table I に示した旧モデルの値を使い、実効長を Table I の New に設定して計算した結果を Fig. 10 に示す。実測との差は 10% 以内である。更にベータトロン位相を実測と比較したものを Fig. 11 として示す。やはり実測に近い。

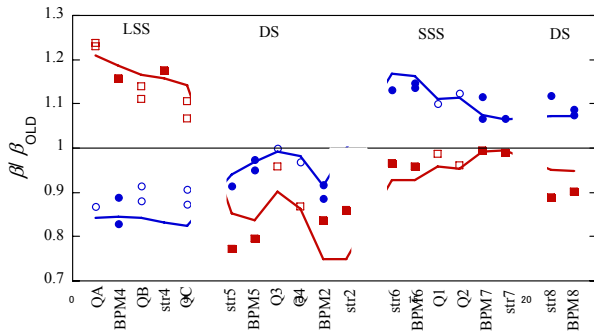


Fig. 10: 旧モデル β_{OLD} に対する β 。水平と垂直の実測値を丸と四角のシンボルで、新モデルによる計算値を実線で示す。

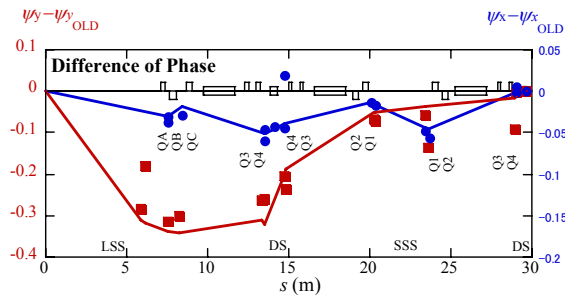


Fig. 11: 旧モデル ψ_{OLD} に対する ψ 。水平と垂直の実測値を丸と四角のシンボルで、新モデルによる計算値を実線で示す。

新しいモデルのパラメーターを旧モデルのそれと比較すると、Q2 の ΔL が他の電磁石の ΔL 極端に小さかった点が修正された。Q2 を別としても ΔL のばらつきが僅かだが減った。G/I として共通の値 46.7T/m/A を使って定量的に示すと、 ΔL の最大と最小の差は 13mm から 11mm に減少している。少なくとも、旧モデルよりは不自然さが小さいと言える。

4. まとめ

ニュースバルにおいて、新しい線形ラティスマデルを構築した。旧モデルと比較すると、手法の上では実測に合うように実効長を調整した事になり、決定的な変更は無かったが、不自然な仮定を導入せざるを得ない必然性は認識できた。また、より正確な測定結果を使う事で、リング対称性を仮定したモデルで β 関数の誤差が 10% 程度のモデルを構築できた。ランダムな集束エラーによる振動が 10% 程度^[8] と考えられるので、現時点では十分と考えているが、今後も改善の努力を継続したい。

参考文献

- [1] 安東愛之輔、福田義博、松原貴裕、「閉軌道データと四極電磁石の据え付け誤差」、第 1 回日本加速器学会年会、(2004, 8/4-6, 船橋市)
- [2] Y. Shoji, "Beam-based calibration of linear optics model of NewSUBARU", Proc. of the 13th Symposium on Accelerator Science and Technology, Osaka, Japan, 2001, Proc. pp.310-312.
- [3] 庄司善彦, et al., 「ニュースバルトンネル空調設備改造」、第 4 回日本加速器学会年会 (2007, 8/1-3, 2007, 和光市)
- [4] S. Hashimoto *et al.*, "Improved Stability of the Radiation Intensity at the NewSUBARU Synchrotron Radiation Facility", Proc. of IPAC2010.
- [5] 皆川康幸, 篠本考秀, 竹村育浩, 庄司善彦「ニュースバルにおける COD 補正の改善」、本会プロシーディングス
- [6] 庄司善彦, 高雄勝, 中村剛, 皆川康幸, 篠本考秀, 「ベータトロン振幅依存の中心軌道変移」、本会プロシーディングス
- [7] 庄司善彦「ニュースバルにおける垂直ステアリングのキック力評価～近隣磁石ヨークによる実効長減少～」本会プロシーディングス
- [8] Y. Shoji, "Improvement of beam lifetime due to optimization of vertical orbit and correction of modulation of vertical beta function at NewSUBARU", Proc. of the 14th Symposium on Accelerator Science and Technology, Tsukuba, pp.533-535.