

SAGA-LS電子蓄積リングにおける 超伝導ウィグラー2台運用プロジェクト 概要と現状

Overview of the project of two superconducting wiggler operation
and current status at the SAGA-LS electron storage ring

低エネルギー入射のコンパクト蓄積リングにおいて
2台の超伝導ウィグラー運用に必要なだったこと

岩崎 能尊、高林 雄一、金安 達夫、江田 茂

SAGA Light Source

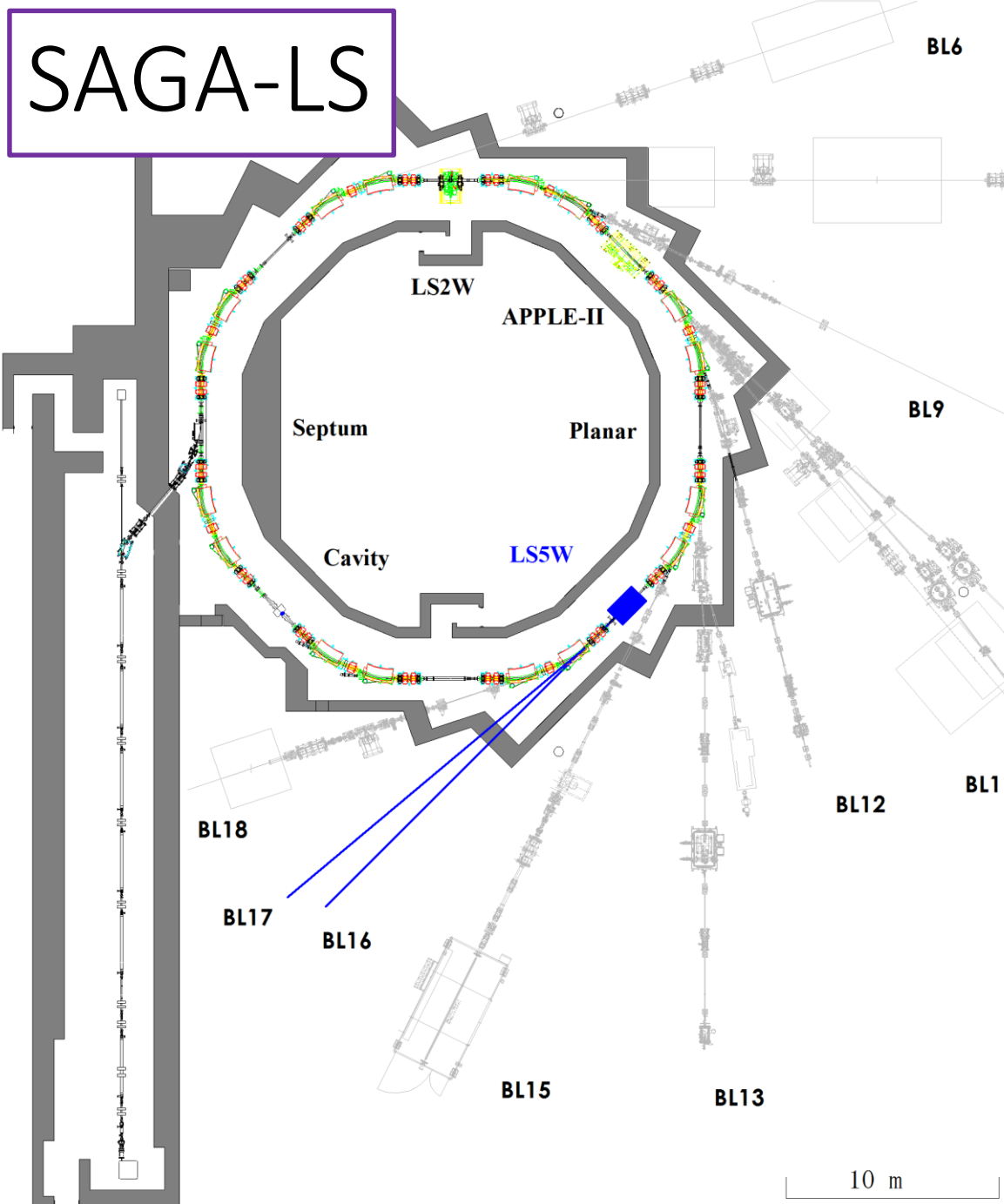
Outline

1. Introduction
2. 2台の超伝導ウィグラー運用条件と方針
3. 準備内容
4. 制御システム更新
5. コミッショニング
6. 現在の運用状況
7. まとめ

1. Introduction

- SAGA-LS概要
- SAGA-LS 4T超伝導ウィグラー (SCW) スペック
- 2台目SCWの検討

SAGA-LS



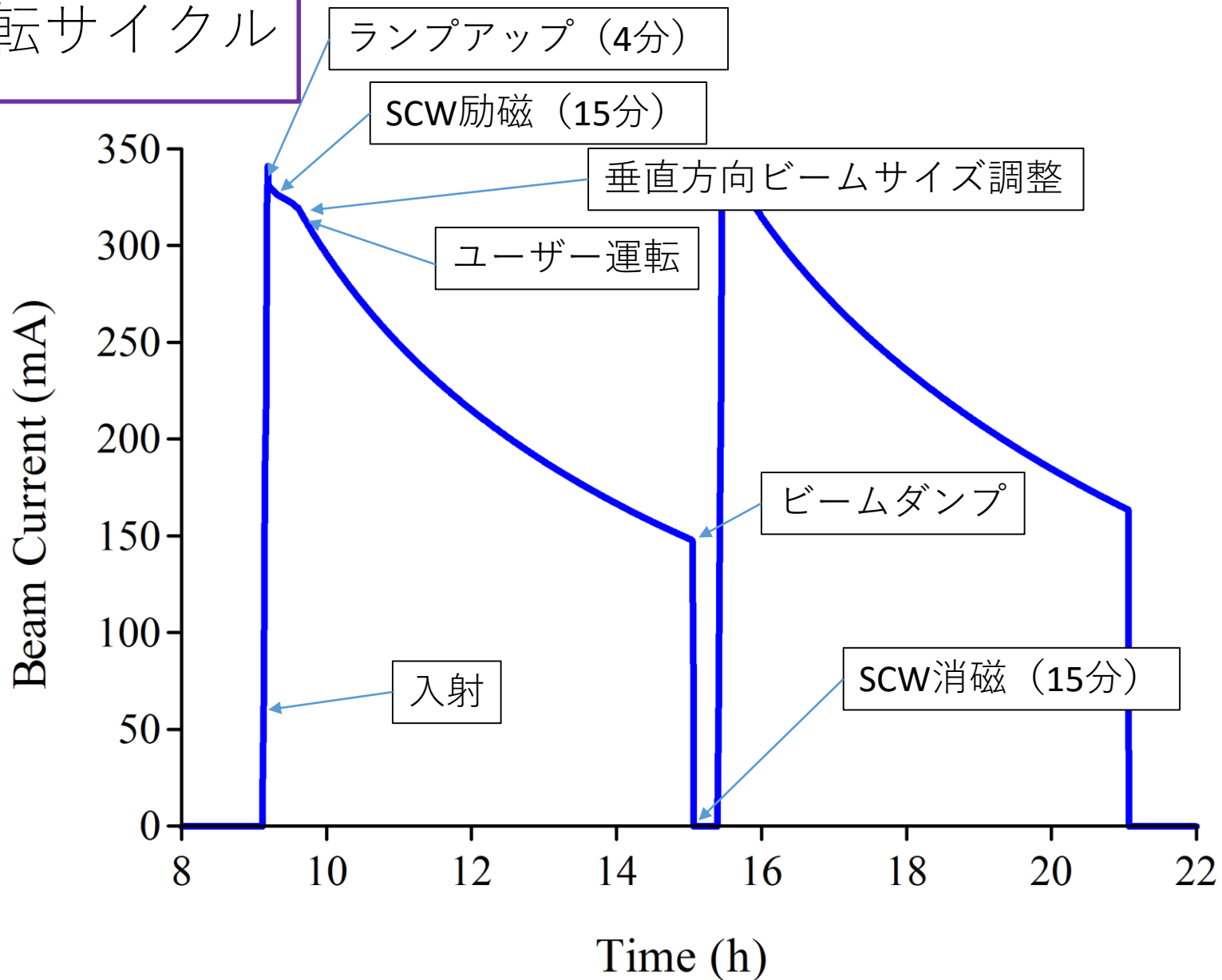
リニアック
全長：30 m
エネルギー：255 MeV

蓄積リング
全長：75.6 m
エネルギー：1.4 GeV
蓄積電流：300 mA
ラティス：DB（8回対称）
エミッタンス：25 nm·rad

4分で1.4 GeVまで加速
15分間でSCW励磁・消磁

挿入光源：APPLE-II, Planar,
SCW

運転サイクル



火曜日は1日2回入射、その他の曜日は1日1回入射

SAGA-LS SCWの目的

4Tハイブリッド型超伝導ウィグラー

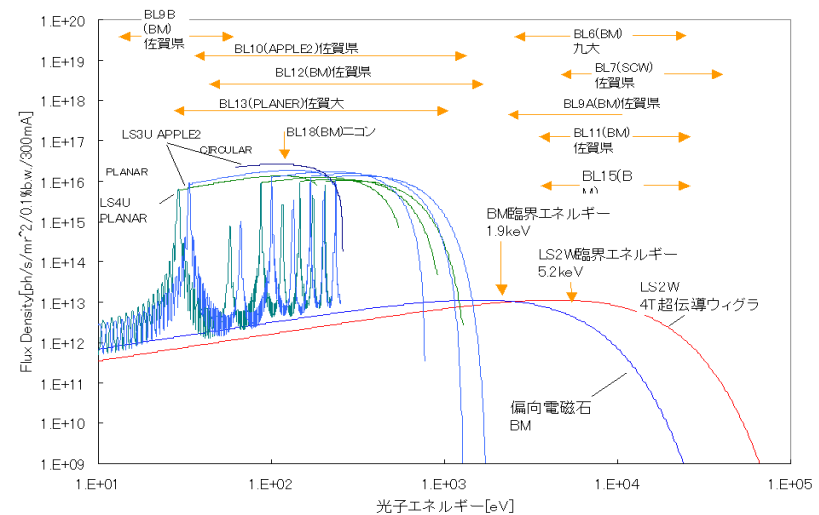
$\epsilon_c=5.2$ keV, 30keV程度までのハードX線利用のニーズに対応

(偏向電磁石光源： $\epsilon_c=1.9$ keV)

安定した運転実績

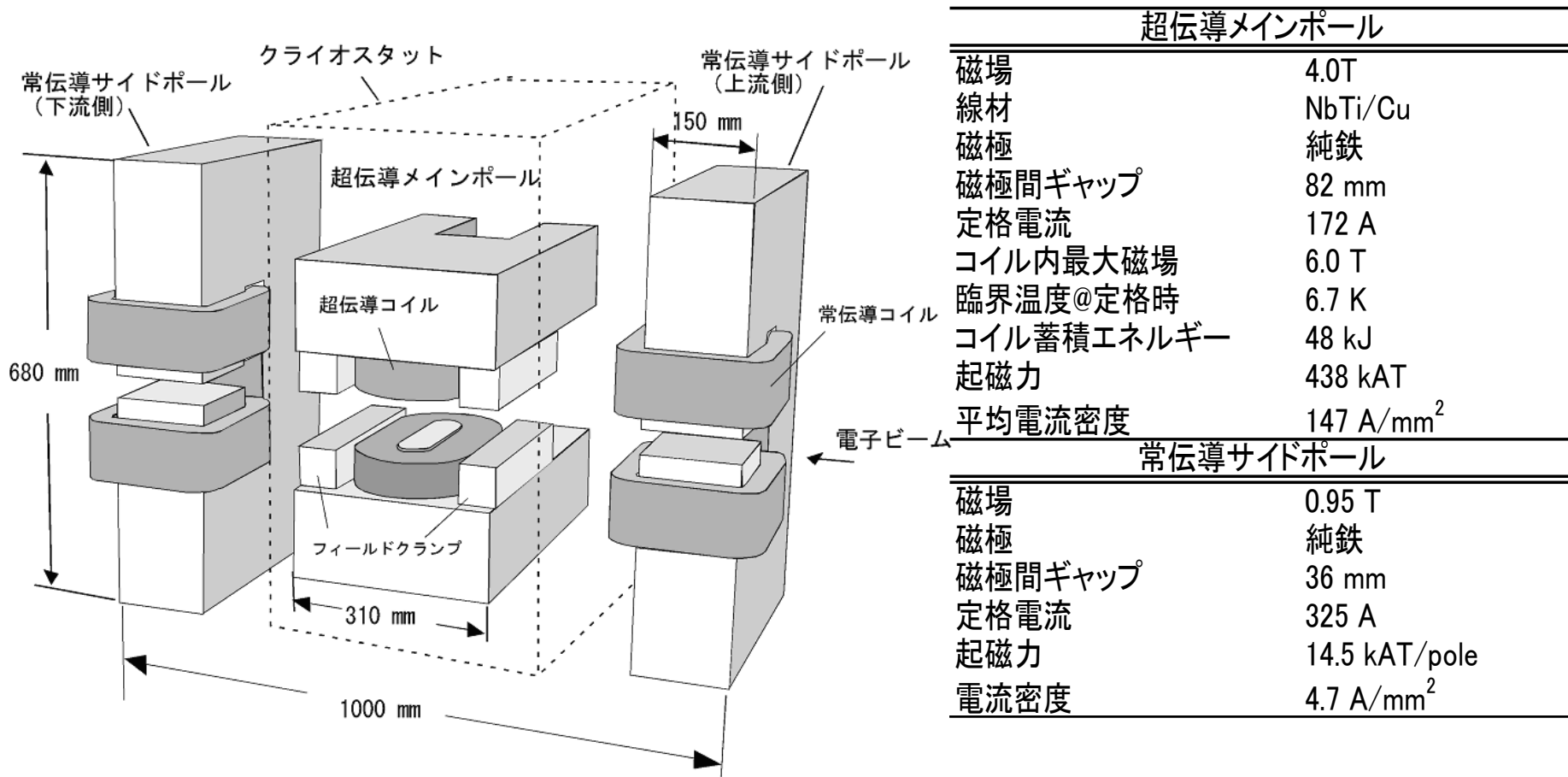


SAGA-LS 4 T Superconducting wiggler



Hard-X-ray Beamline:
protein crystallography; X-ray tomography; X-ray absorption fine structure

4T超伝導ウィグラー仕様



Gifford-McMahon (GM) 冷凍機による冷却 (メインポール)

- S. Koda et al., Design of a superconducting wiggler for the SAGA light source storage ring, IEEE Trans. Appl. Supercond. 21 (2011) 32.
 T. Semba et al., Design and manufacture of superconducting magnet for the wiggler in SAGA-LS, in IEEE Proceedings, IPAC'10, 2010, p. 358.
 M. Abe et al., Magnetic field design of a superconducting wiggler in the SAGA-LS storage ring, IEEE Trans. Appl. Supercond. 24(2) (2014).

2台目SCW検討開始

2台目となる超伝導ウィグラー（LS5W）検討開始

（住友電気工業株式会社BL16ハードX線ビームライン用光源）

仕様は一台目SCW（LS2W）と同じ

課題：2台のSCWによる強いビームへの影響をどう抑制するか

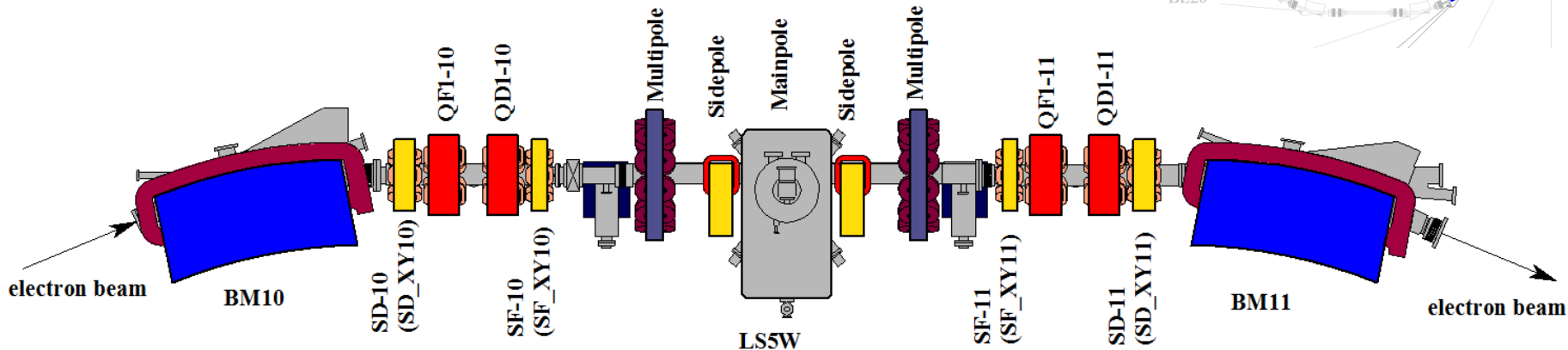
- ◆ 励磁中の大きなCOD
- ◆ 励磁中の大きなチューンシフト
- ◆ クロマティシティーシフト

- カップリング変化
- ベーター関数の歪み
- ダイナミックアパーチャー縮小

2. 2台のSCW運用条件と方針

- 2台のSCWを同時に励磁できること（励磁時間15分）
⇒SCWによる強いビームへの影響を励磁中においても十分に抑制
- 1台でも2台でもオペレーション手続きが容易
⇒LS5Wのための補償システムはLS2Wとは独立かつローカル
- 従来シリーズに接続されてきた4極電磁石ダブレットの一部を独立電源化（チューンシフト補正）
- 多極成分電磁石の設置（ローカルクロマティシティ補正）
- フィードフォワード方式によるSCW励磁中の補正

LS5W用のローカル補償システム

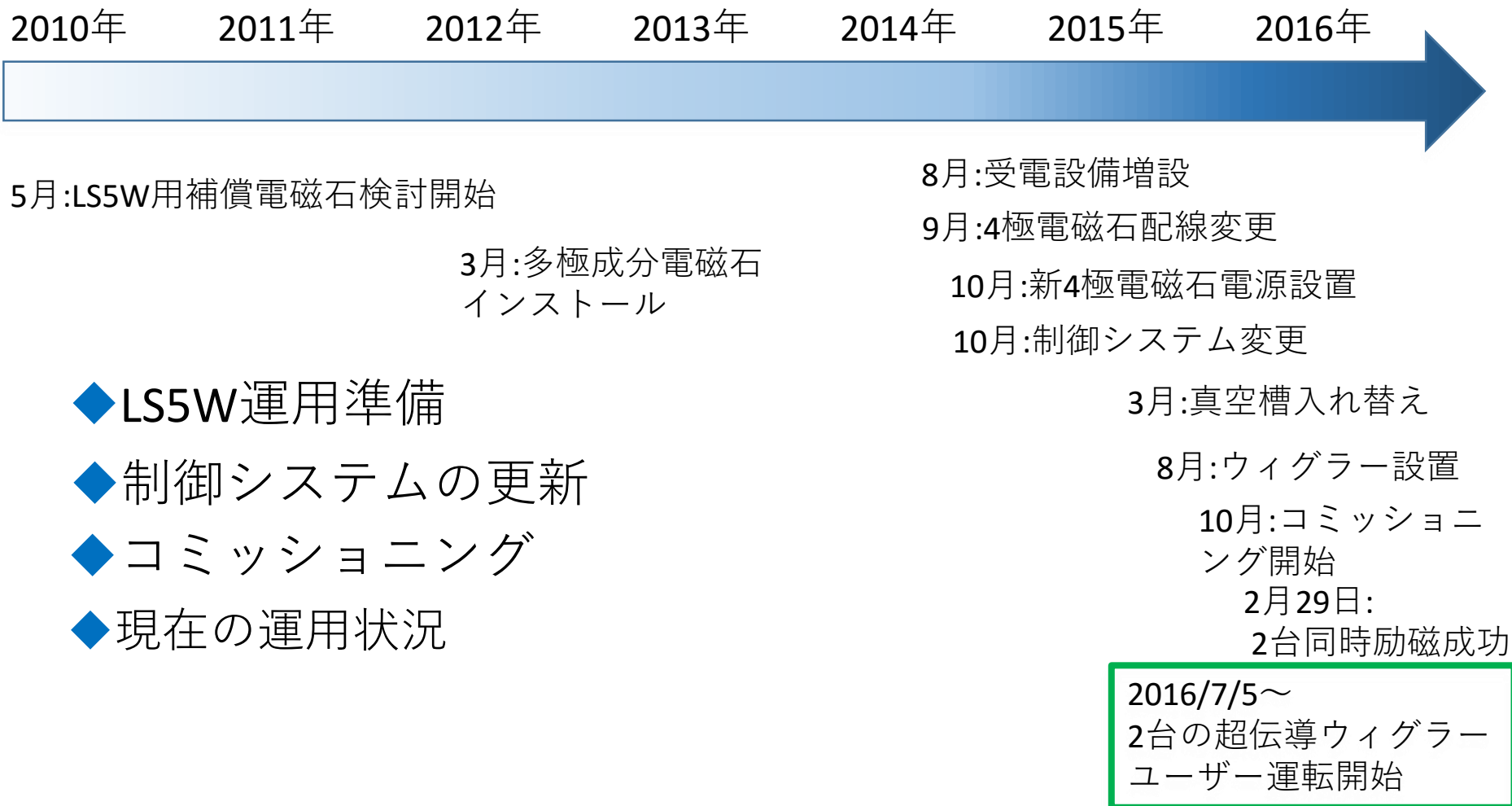


- Dipole:
 - Horizontal: サイドポールマグネットの励磁パターン最適化
 - Vertical: 6極内蔵のステアリング
- Qudrupole: SCW上下流の4極ダブレット
- Sextupole: 多極成分電磁石

3. LS5W準備内容

- ◆4極電磁石の一部独立電源化
- ◆多極成分電磁石
- ◆真空槽入れ換え
- 受電設備増設
- 冷却水ポート増設
- 制御システム更新

・超伝導ウィグラー2台運用プロジェクト概要



◆LS5W運用準備

◆制御システムの更新

◆コミッションング

◆現在の運用状況

・ 4極電磁石の一部独立電源化

配線工事

September, 2014

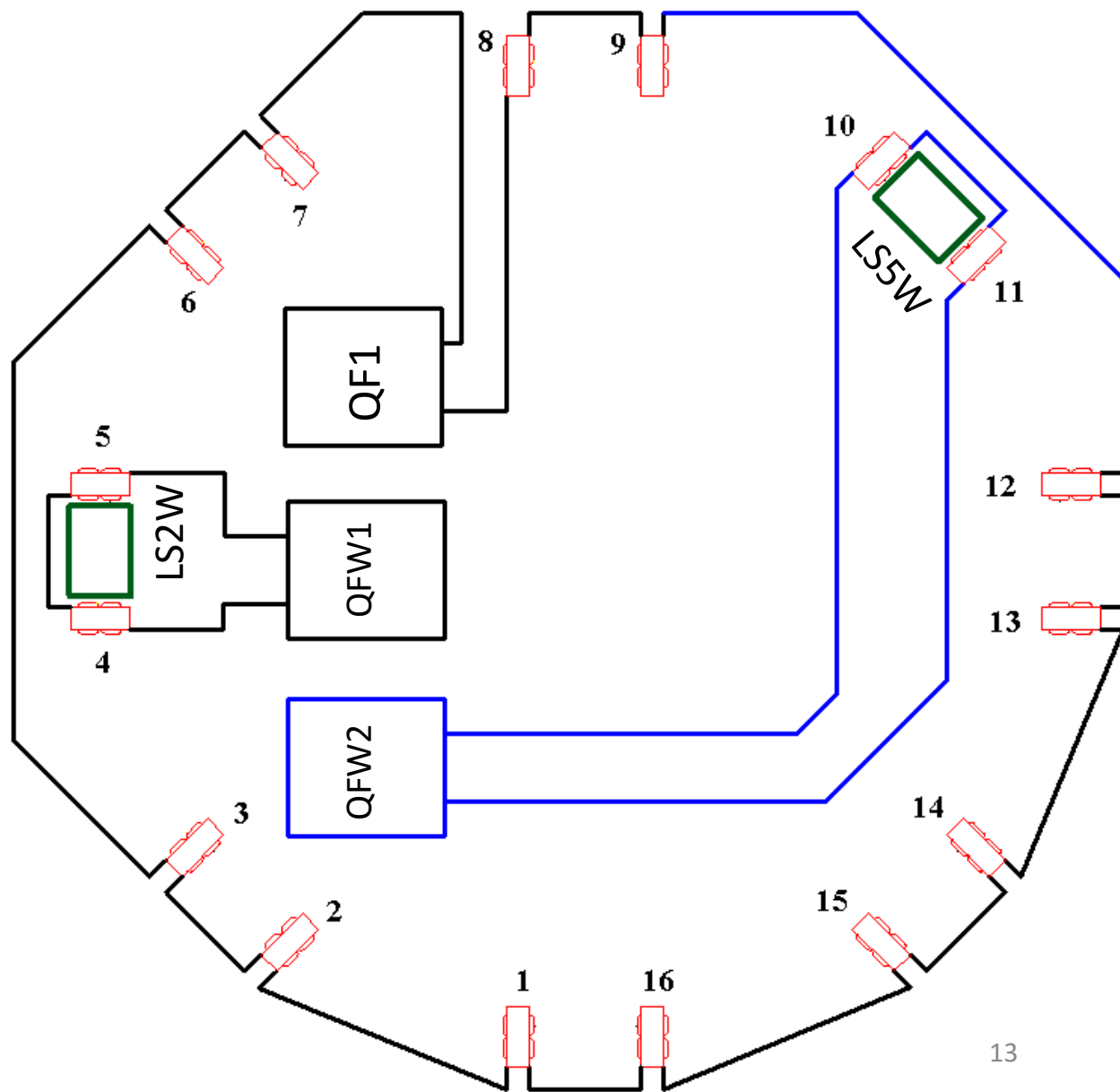
4極電磁石ダブレット

QF1-10, QF1-11

QD1-10, QD1-11

を独立電源化

(QFW2, QDW2)



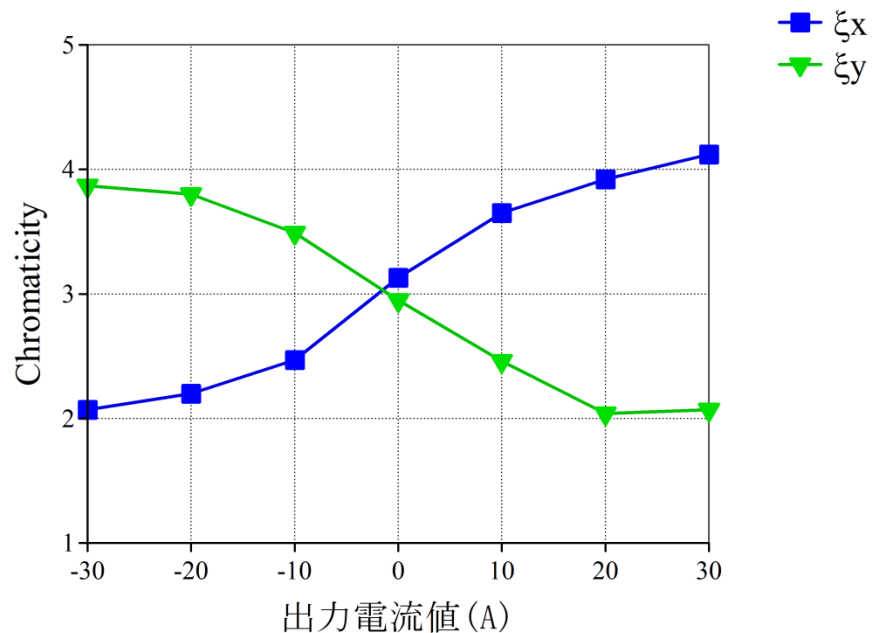
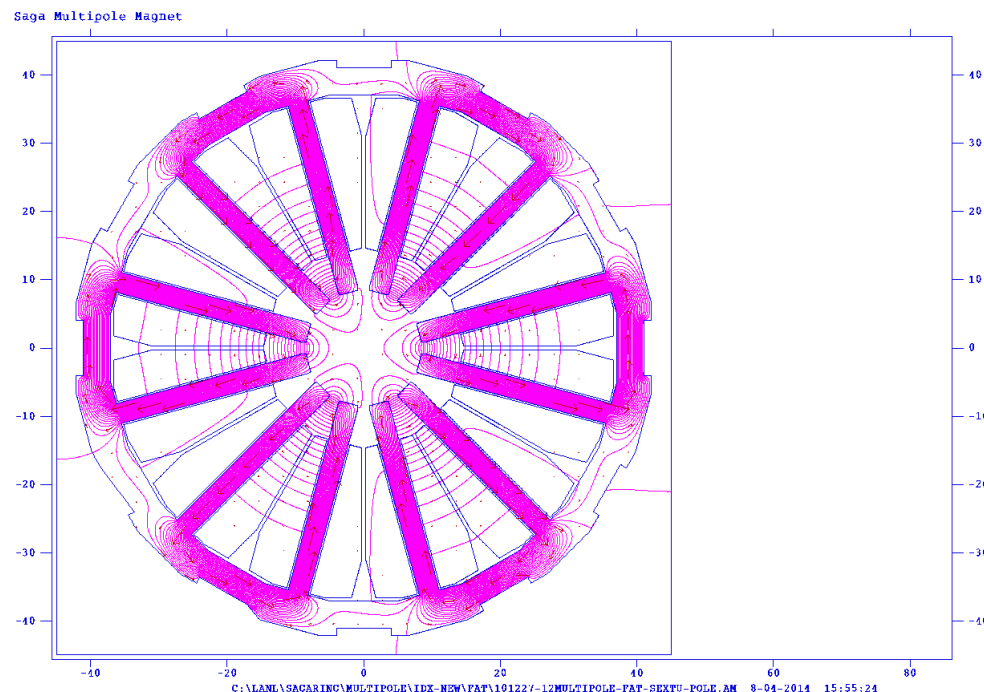
多極成分電磁石の設置

May, 2012



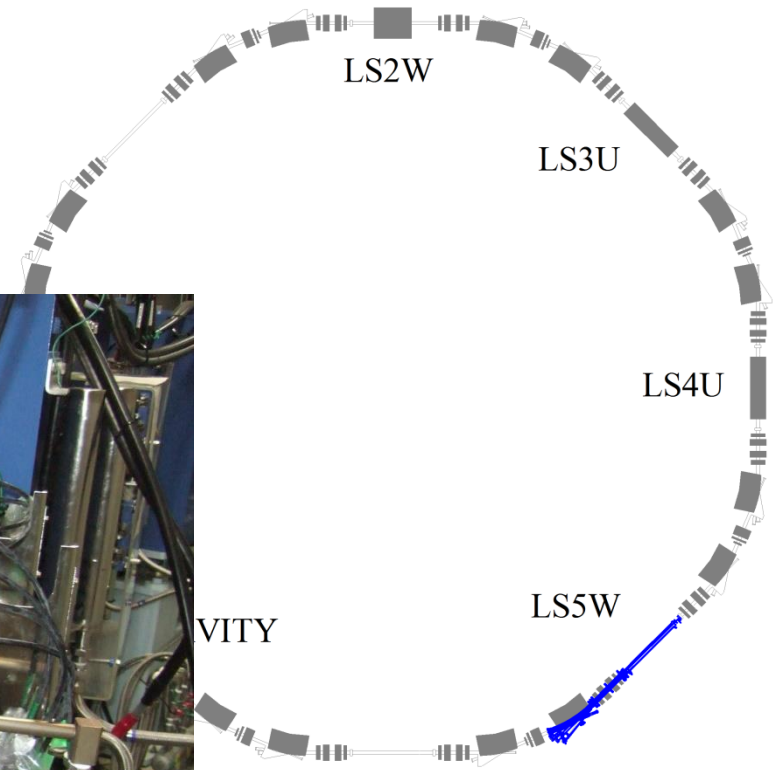
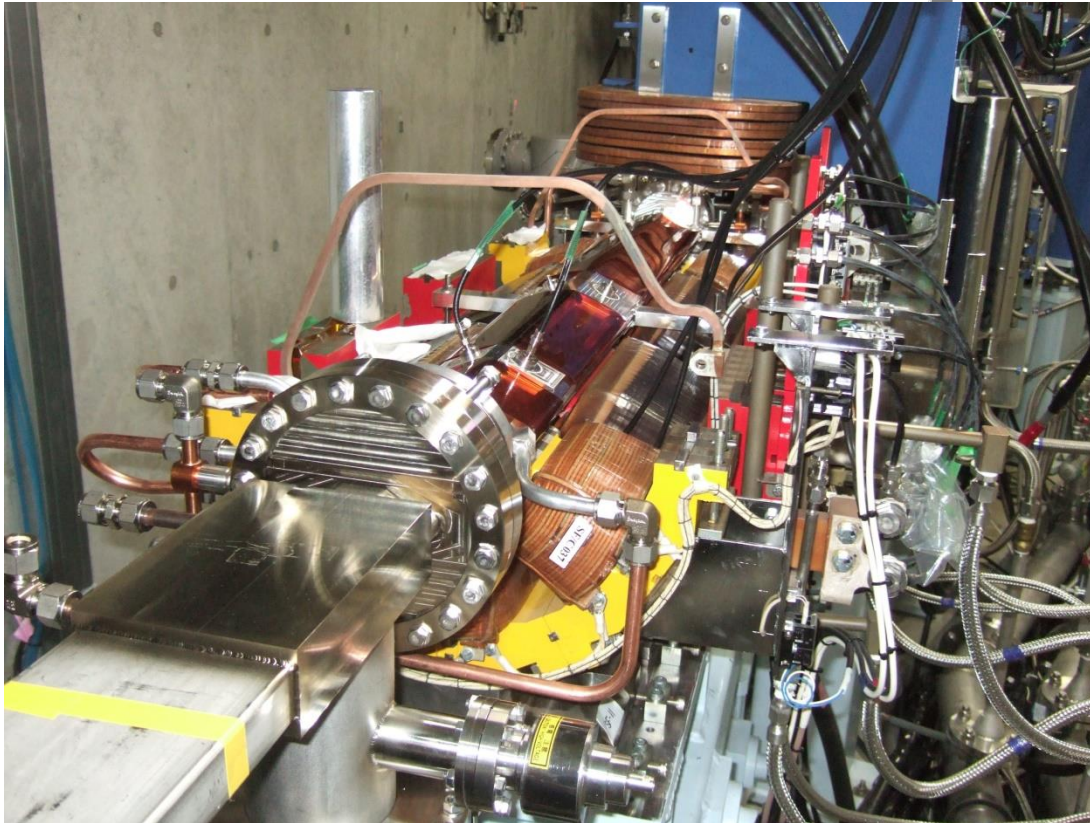
ボア径： 168 mm
アンペアターン： 5400 AT/極

Skew 4極成分： 1.7 T/m
6極成分： 40 T/m²
8極成分： 105 T/m³



・ 真空槽入れ換え

LS5, 4極電磁石部、偏向電磁石部、
多極成分電磁石の移動, May, 2015



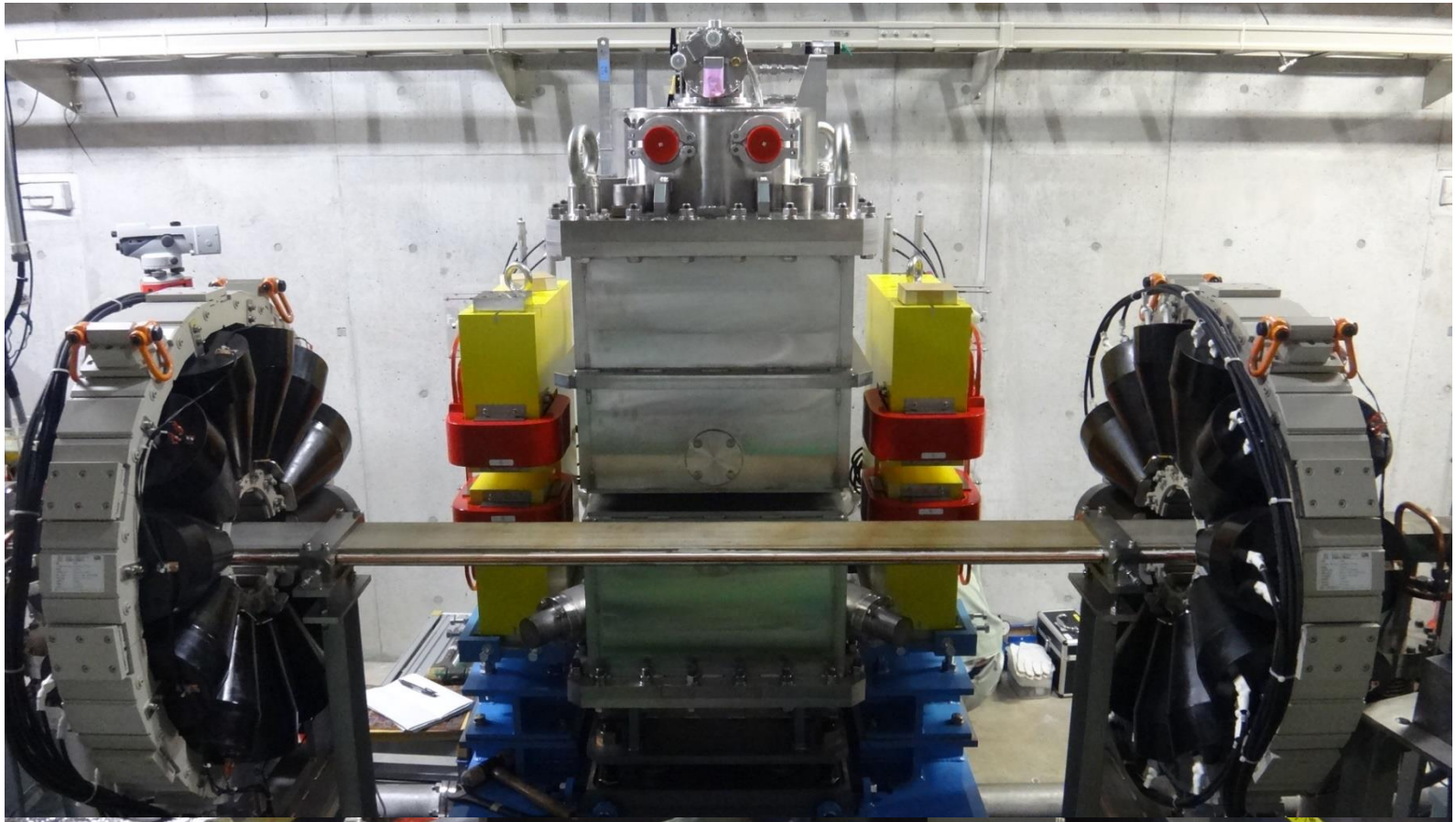
多極成分電磁石の配置換え

T.Kaneyasu et al., Vacuum Condition of the Beam Duct After the Replacement for Installing the Superconducting Wiggler at SAGA-LS, Proceedings of the 13th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, (2016).

T. Kaneyasu et al., Installation of a second superconducting wiggler at SAGA-LS, in: AIP Conf. Proceedings, SRI 2015 (2015).

・ LS5Wインストール

August, 2015



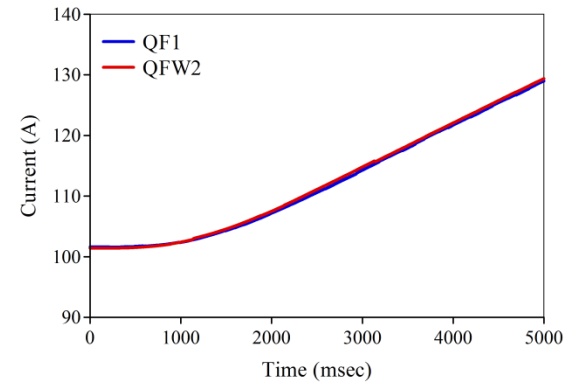
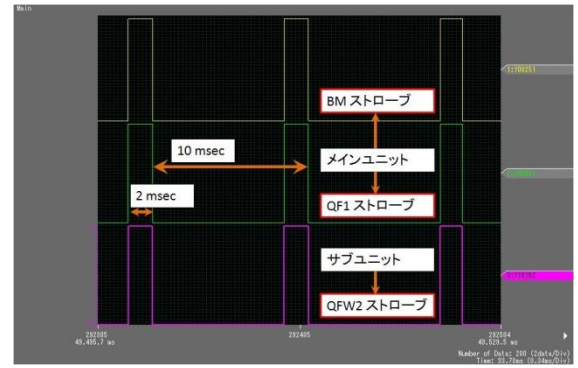
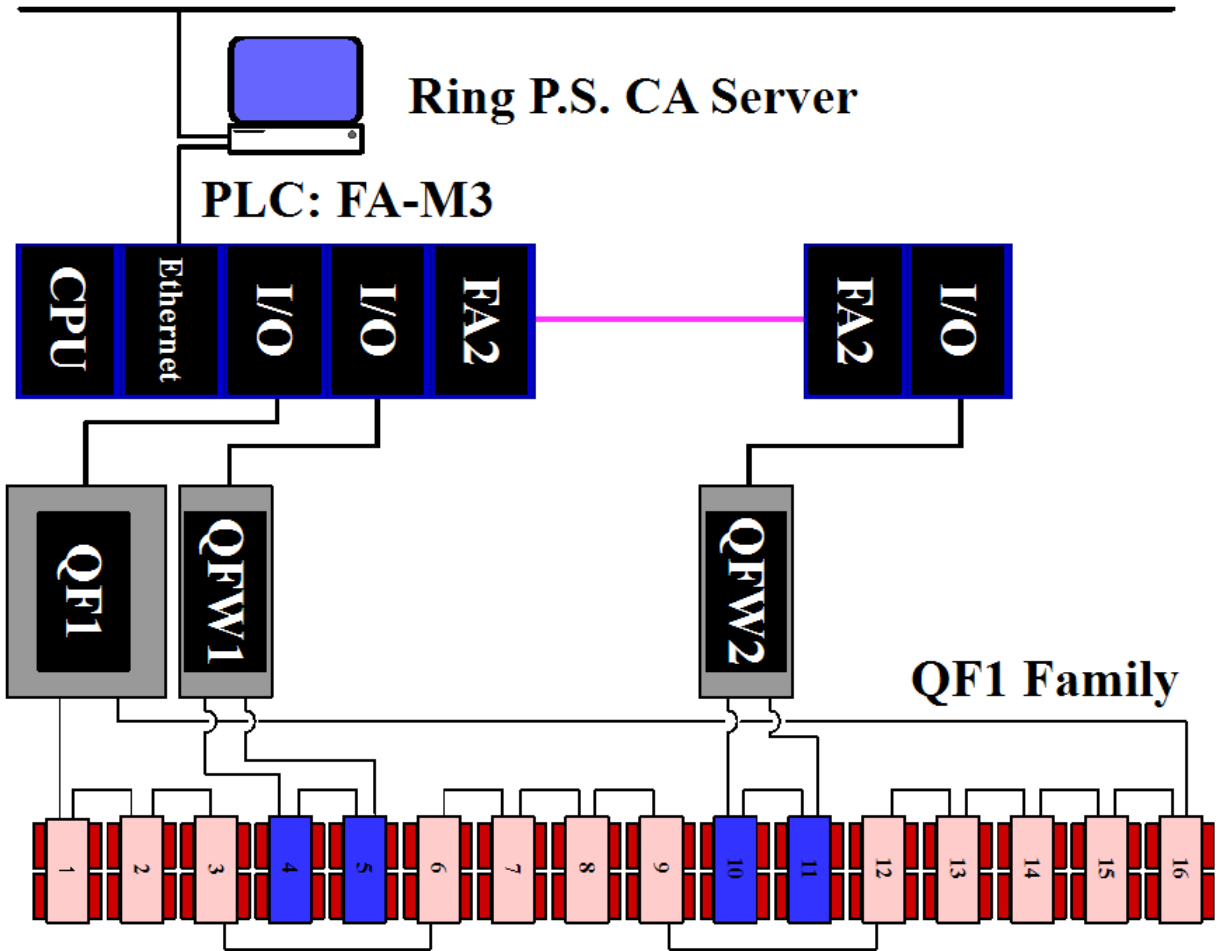
4. 制御システム更新

- ◆ 4極電磁石の一部独立電源化に伴う蓄積リング電磁石電源制御システムの更新
- SCWに追従したフィードフォワード制御開発
- 外部DCCTによる新4極電磁石電源フィードバック制御追加
- 運転用アプリケーションGUI制作

蓄積リング電磁石電源 制御システムの更新

October, 2014

新4極電磁石電源は、ランプアップさせる必要がある。
 PLCのシングルCPUモジュールと光リンクによる子機の構成で1msec程度の同期性を確保
 既存システムの拡張



5. コミッショニング

コミッショニングのポリシー

- 1号機（LS2W）に起因する励磁中におけるビームへの影響をLS5W設置前にできるだけ抑制しておく。

LS2Wは運用当初、励磁完了後にチューン補正、クロマティシティー補正を行っていた。

- ◆ 2号機（LS5W）に起因するCODは可能な限り抑制する。

◆ 補償制御システムの整備

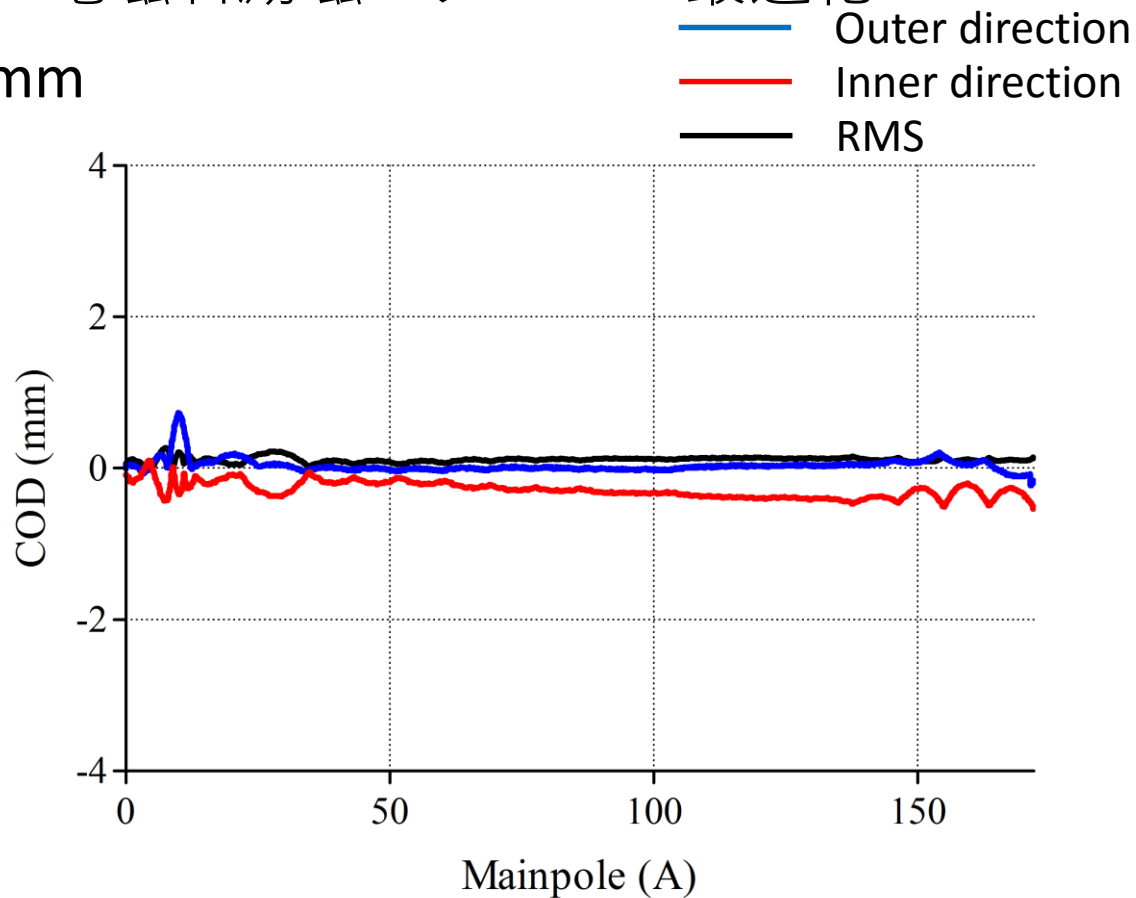
メインポールの励磁電流に追従したフィードフォワード補償システムの構築（LS2W, LS5W）。

・ 2極成分 (LS5W)

COD(Horizontal)

サイドポール電磁石励磁パターンの最適化

目標： $\Delta x < 1\text{mm}$

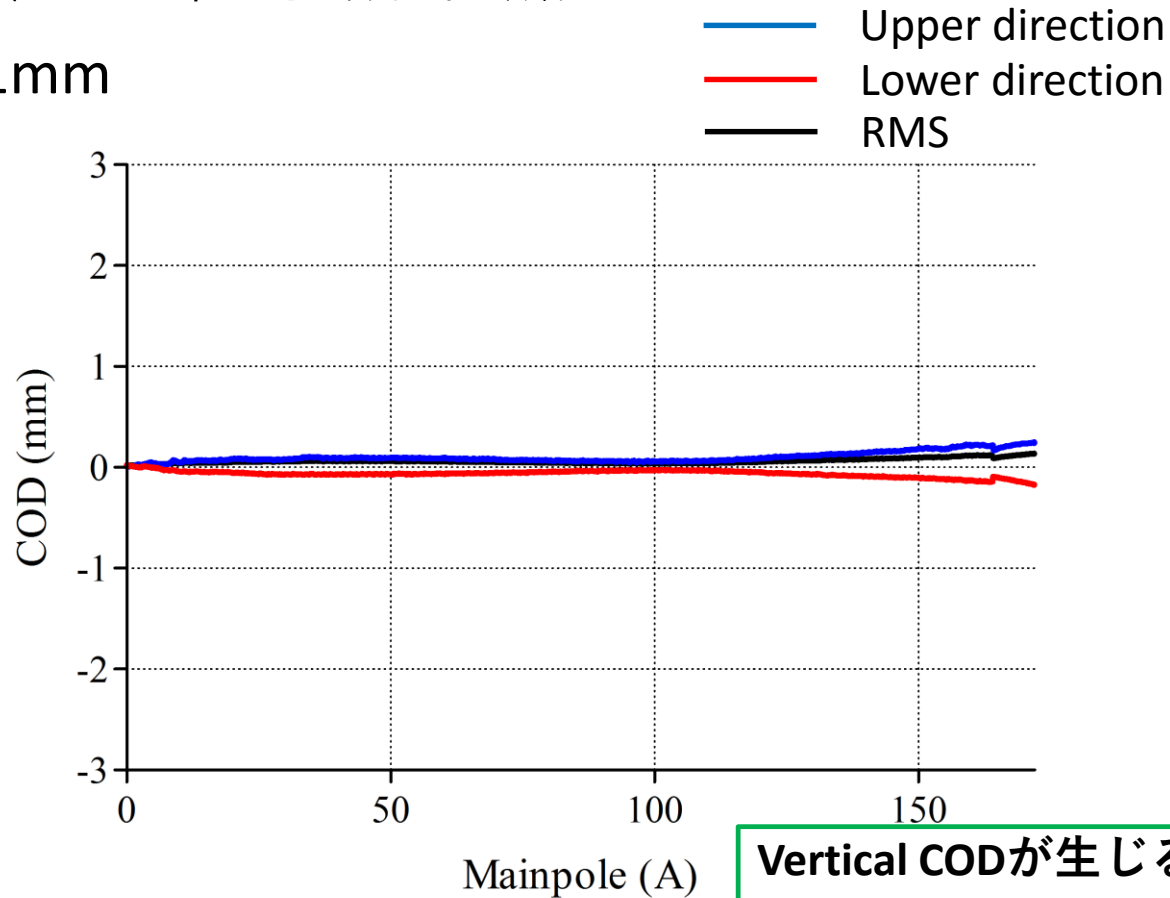


・ 2極成分 (LS5W)

COD(Vertical)

LS5Wに隣接する6極電磁石内臓ステアリング

目標： $\Delta y < 1\text{mm}$



Vertical CODが生じる原因は不明。
SCW励磁後にグローバルCOD補正。

・ 4極成分 (LS5W)

Tune Shift フィードフォワード補正

QFW2, QDW2による補正、目標： $\Delta v < 0.01$

補正前

	Before excitation	After excitation	Δv
Horizontal Tune	5.778	5.747	-0.031
Vertical Tune	1.802	1.874	0.072

補正後

	Before excitation	After excitation	Δv
Horizontal Tune	5.786	5.794	0.008
Vertical Tune	1.814	1.808	-0.006

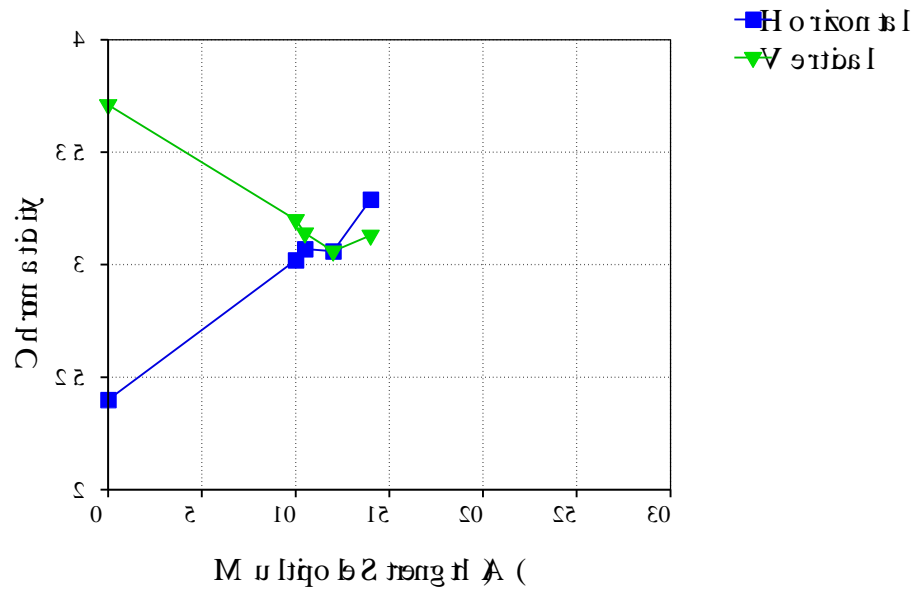
・ 6極成分 (LS5W)

Chromaticity補正

$\xi_x \sim 3, \xi_y \sim 3$

多極成分電磁石：

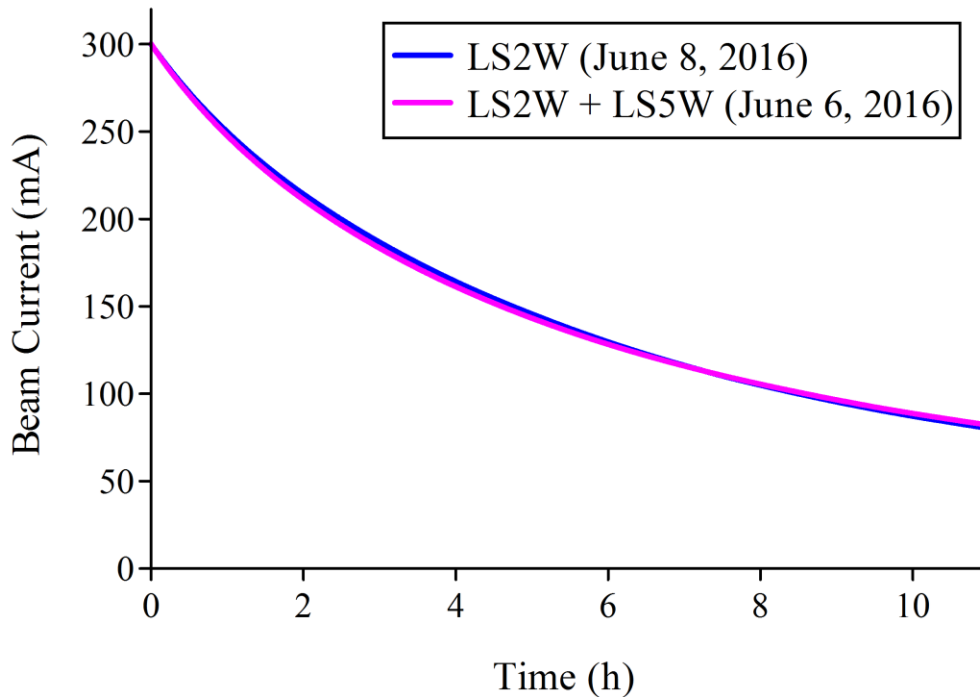
6極電磁石として使用



	Before excitation	After excitation (no correction)	After excitation (with correction)
Horizontal	3.13	2.40	3.03
Vertical	2.95	3.75	2.91

6. 現在の運用状況

常時2台のSCWを運用したユーザー運転を開始



- ・ 大幅なビーム寿命の減少はない。
- ・ 他のBL放射光実験への影響はない。

まとめ

- 2台の超伝導ウィグラーを励磁した安定したビーム蓄積を可能とした。
- 超伝導ウィグラーによる強いビームへの影響は、個々独立に補正した。
- LS5Wの励磁に起因するビームへの影響はローカルに補正した。
 - ◆ 1部4極電磁石ダブレットの独立電源化
 - ◆ 多極成分電磁石によるクロマティシティー補正
- SCW励磁中におけるビームへの影響はフィードフォワード方式により補正した。
- 2台のSCW運転時に他の放射光ビームラインへの影響はなかった。
- ビーム寿命の詳細については調査中。

SAGA-LSは低エネルギー入射方式のコンパクトな電子蓄積リングであるが、2台の4T SCWの同時運用を開始した。

複数（2本）のハードX線ビームラインの運用が可能となった。

2016年7月5日より、2台の4T超伝導ウィグラーを励磁したSAGA-LS蓄積リングユーザー運転を開始した。

現在まで安定したユーザー運転を行っている。



LS2W



LS5Wと多極成分電磁石

謝辞

- 住友電気工業株式会社
山口浩司 氏、飯原順次 氏
- 株式会社日立製作所
山本勉 氏、阿部充志 氏、仙波智行 氏
他関係者 様

ご清聴ありがとうございました。