

## 加速器施設の長期間消費電力トレンド

### LONG-TERM ELECTRICITY POWER CONSUMPTION TRENDS AT J-PARC ACCELERATOR FACILITIES

佐藤健一<sup>\*A)</sup>、上窪田紀彦<sup>A)</sup>、田島佑斗<sup>B)</sup>、土井幸之介<sup>B)</sup>、小原直登<sup>B)</sup>、伊藤博<sup>A)</sup>、  
Kenichi Sato<sup>\*A)</sup>、Norihiko Kamikubota<sup>A)</sup>、Yuto Tajima<sup>B)</sup>、Konosuke Doi<sup>B)</sup>、Naoto Obara<sup>B)</sup>、Hiroshi Ito<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup>J-PARC Center / KEK (Tokai campus)

<sup>B)</sup>Kanto Information Service (KIS)

#### Abstract

In J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex), we are always monitoring utility services of facilities (for example, electricity, air conditioning, cooling water, etc.) using the central monitoring system. The central monitoring system has the one-way data gateway, to the EPICS-based accelerator control system. The archiver system of the accelerator control system has started since 2005, and data from central monitoring system have been archived since December 2007. As an example, it is possible to follow the trend of electricity consumption for about 12 years as of 2020. In this paper, we report on the trend of electricity consumption, considering relationship with accelerator operation from 2008 to the first half of 2020.

#### 1. はじめに

J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) は日本原子力研究開発機構 (JAEA) と高エネルギー加速器研究機構 (KEK) が共同で計画及び運営を行っている大強度陽子加速器施設である [1,2]。リニアック、3GeV シンクロトロン (RCS : Rapid Cycling Synchrotron)、50GeV シンクロトロン (MR : Main Ring) の3段の加速器および MLF、NU、HD の3つの研究施設で構成されている [3]。

Figure 1 に J-PARC サイトの航空写真を示す。MR は周長 1.5km のトンネルなので複数の建屋があるが、代表として電源棟 (D1,D2,D3) と機械棟 (M1,M2,M3) を示す。

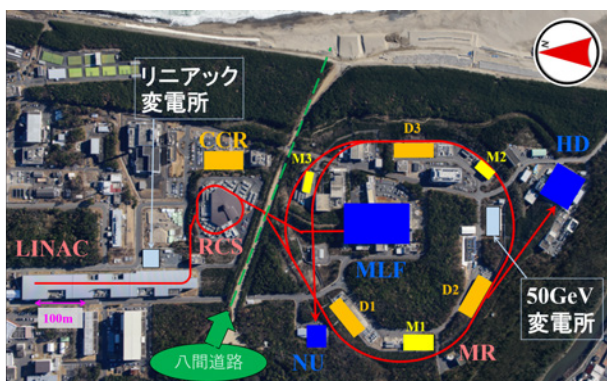


Figure 1: J-PARC site layout.

原科研の敷地内に東京電力からの受電設備として154 特高受電所があり、そこから原科研側で使う「中央変電所」と J-PARC 側で使う電力の2つに分岐される。さらに J-PARC には2つの変電所があり、「八間道路」と呼ばれる敷地外道路を境に北側を「リニアック変電所」が、南側を「50GeV 変電所」が担っている。

Figure 1 で示した施設では、リニアック・RCS・中央制御棟 (CCR) がリニアック変電所、MLF・HD・NU・MR の電源棟と機械棟が 50GeV 変電所から電力を得ている。

本発表では J-PARC における2つの変電所を対象とした、2007年12月から2020年8月までの電力のデータを取り扱う。

本発表では J-PARC における2つの変電所を対象とした、2007年12月から2020年8月までの電力のデータを取り扱う。

#### 2. 中央監視システムと電力について

J-PARC には各施設におけるインフラを監視する中央監視システムがあり、電気・空調・冷却水等の1000点を超えるチャンネルが24時間監視されている。中央監視システムは加速器とは独立しており、常駐する監視員が専用の GUI を用いて監視している。

一方で、加速器制御との取り合い用の EPICS IOC [4] を中央監視システムの完成当初から用意しており、全てのデータを EPICS PV に変換している。これがデータゲートウェイとして機能することで、加速器側は中央監視システムが収集しているデータを EPICS PV の形で取り扱うことができる。Figure 2 に示すのがその概略である。

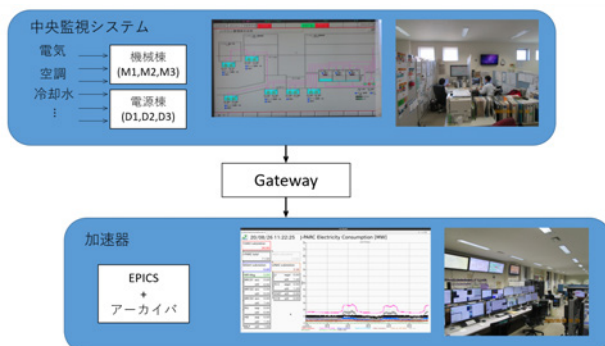


Figure 2: Data from J-PARC central monitoring system.

\* kenichi.sato@j-parc.jp

J-PARC 加速器制御システムのアーカイバ [5] は 2005 年から試験利用として運転しており、施設部のデータは中央監視システムが完成した 2007 年 12 月当初からおおむね 10 秒周期でアーカイバに登録されている。これらのデータは J-PARC 加速器制御において MR の運転開始 2008 年 5 月よりも古いものである。2007 年 12 月から 2020 年 8 月まで、データにもよるが 1 つの PV が約 2800 万点のデータになり、テキストファイルに変換するとサイズが 1.8GB にもなる。

### 3. J-PARC の電力のトレンドグラフ

本章ではアーカイブされたデータをトレンドグラフにして、その中身を考察する。参考情報として Table 1 に各施設における 2020 年 6 月の HD 利用運転中および 2020 年 2 月の NU 利用運転中の典型的な電力量を示す。値が 1 つだけのものは 2 つの期間で電力量に変化がないことを示す。また、Table 2 に J-PARC におけるイベントを列挙した。これは、J-PARC の電力に変化を与えそうなアップグレードに関わる事象と、数日から数カ月に亘って J-PARC 全体あるいは該当の施設で運転停止を伴う事象を選出している。

Table 1: Typical Recent Electricity Consumption

LI 変電所	電力量	50GeV 変電所	電力量
LI	8.6MW	MLF	1.5MW
RCS	22MW	MR(HD)	23MW
CCB	0.11MW	HD	10MW
		MR(NU)	21MW
		NU	2.0MW

#### 3.1 J-PARC 全体・変電所における電力のトレンド

J-PARC 全体・リニアック変電所・50GeV 変電所における電力のトレンドを Fig. 3 に示す。

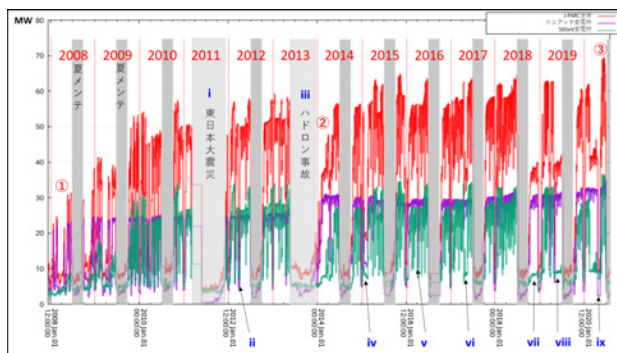


Figure 3: J-PARC electricity consumption.

J-PARC 全体の電力の上昇はおおむね右肩上がりに見える。一方で、リニアック変電所の電力はどの年もほぼ一定に見えることから、J-PARC 全体の電力変動は 50GeV 変電所に起因するといえる。リニアック

Table 2: J-PARC History

NO.	発生期間	Event
①	2008 5/19	MR 初ビーム
i	2011 3/11~12/9	東日本大震災 [6]
ii	2012 3/22~4/5	LI クライストロン電源 1号機の故障 [7]
iii	2013 5/23~12/16	ハドロン事故 [8]
②	2014 1/17	LINAC 400MeV 加速 [9]
iv	2015 1/16~2/26	MLF ミュオンで発煙 (火災) で事故体制 [10]
v	2016 3/29~4/7	MR:BM067 異常→交換 [11]
vi	2017 4/26~5/19	MR:ESS1 損傷→交換 [12]
vii	2018 夏~19 1/22	アップグレードのため MR・NU・HD 運転停止
viii	2019 4/24~夏	3-50BT:B15D 層間短絡 [13]
xi	2020 4/20~5/13	新型コロナウイルス による運転停止 [14]
③	2020 5/23	HD:B ライン増設 [15]

ク変電所の電力は② 2014 年 1 月の前後で約 5MW の変化がみられるが、これはリニアックで 400MeV 加速に成功した時期と一致する。また、同じくリニアック変電所では 2018 年 4 月ころから緩やかに電力の上昇がみられるが、これは 1MW 運転デモ (2018/7/3、2019/7/3、2020/6/25~27) への対応によるものと推測される。

#### 3.2 MR ビームパワーと比較したトレンド

50GeV 変電所の電力と MR ビームパワーを比較したトレンドを Fig. 4 に示す。左軸が電力 (MW) であり、右軸はビームパワー (kW) を示す。

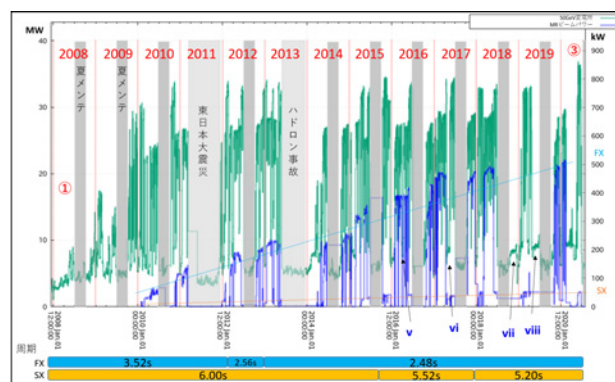


Figure 4: 50GeV substation vs. MR beam power.

MR 変電所の電力の上昇は運転モードによる違いが大きい。例えば SX 運転の時には FX の時より 7MW 程度の上昇がみられるが、フラットトップの長さの違い (遅い取り出しをしている約 2 秒間で最大電流・電圧をキープする) だけでなく、HD ビームラインにおける DC 電磁石群の電力消費も大きいと考

えられる。

下部に MR における 2 つのビームモード：速い取り出し (FX) と遅い取り出し (SX) それぞれで加速器運転の 1 サイクル周期の推移を示している。周期が変わったことによる電力の変化は小さいように見える。

特に FX の時に強く感じるが、ビームパワーの上昇に比例して電力が上昇しているように見える。これは陽極電源の出力とビームパワーに相関があるためと思われる。夏メンテが明けた運転再開から少しずつ高いビームパワーを実現してきたことが見て取れる。加えて、季節の進行とともに施設の冷房を強める必要があることもわずかに影響を及ぼすと考えられる。

③における電力量増加は HD で新設一次ビームライン (B ライン) が稼働したことによるものである [15]。これに関しては Fig. 5 および Fig. 6 を用いて補足をする。

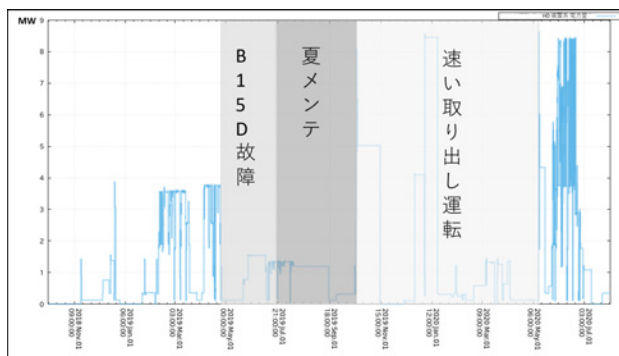


Figure 5: Electricity consumption over the last two years at HD facility.

HD 利用運転時の電力の上昇は MR 側だけでなく HD 施設の持つビームラインの電力も大きなウェイトを占める。Figure 5 は 2018 年 10 月の運転再開から 2020 年 8 月の夏メンテまでの HD 施設の装置系電力量の抜粋である。夏メンテの他に、B15D 電磁石の故障・FX 運転の間は関係がないのでマスクしている。2019 年までは既存の一次ビームラインのみで約 3.5MW であったが、2020 年 5 月より HD の新設一次ビームライン (B ライン) を使った調整運転・利用運転が開始され、約 8.5MW の電力量になった。

一方で MLF の運転における電力はそれほど変化はない。Figure 6 は 2018 年 10 月の運転再開から 2020 年 8 月の夏メンテまでの MLF 内の建屋系電力量である。Figure 5 とは違い運転停止は夏メンテのみなのでマスクしている。2018 年 10 月の 500kW から 2020 年 6 月には 600kW までビームパワーが増加しているが、電力はどこでもおおむね 1.5MW である。

#### 4. まとめと今後の展望

今回アーカイバデータとして J-PARC の 12 年分の電力を選んだことで、これまで J-PARC が歩んできた歴史を感じることができた。電力に作用するのは加速器運転そのもので、加速器というものが大量の

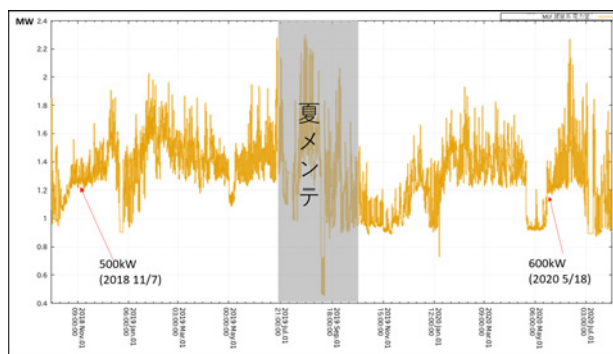


Figure 6: Electricity consumption over the last two years at MLF facility.

電力を消費するものということでもある。アーカイブされた中央監視システム系のデータは各施設単位での電力以外にも空調や冷却水などがあるので、それらを精査して他のデータと比較すると違った歴史が見えるかもしれない。

#### 参考文献

- [1] <http://j-parc.jp/>
- [2] K. Hasegawa *et al.*, "Performance and Status of the J-PARC Accelerators", Proceedings of IPAC2017 in Copenhagen, Denmark, May 14-19, 2017, pp. 2290-2293.
- [3] T. Koseki *et al.*, "Beam Commissioning and Operation of the J-PARC Main Ring Synchrotron", Progress of Theoretical and Experimental Physics (PTEP) 2012, 02B004, 10.1093/ptep/pts071.
- [4] <http://www.aps.anl.gov/epics/>
- [5] S. Yamada *et al.*, "Deployment of Archiver Appliance at J-PARC Main Ring", Proceedings of 14th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan in Hokkaidou, Japan, Aug. 1-3, 2017, WEP100, pp.1144-1147.
- [6] K. Hasegawa *et al.*, "Status of J-PARC Accelerators", Proceedings of 9th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan in Osaka, Japan, Aug. 8-11, 2012, WEPS001, pp.339-343.
- [7] <http://j-parc.jp/ja/topics/2012/LINAC120323.html>
- [8] N. Kamikubota *et al.*, "New Surveillance System to Enhance Safety of J-PARC Accelerators", Proceedings of 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan in Aomori, Japan, Aug. 9-11, 2014, MOOL11, pp.224-227.
- [9] H. Oguri *et al.*, "Present Status of J-PARC LINAC", Proceedings of 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan in Aomori, Japan, Aug. 9-11, 2014, FSP021, pp.389-393.
- [10] <https://j-parc.jp/ja/topics/20150219press.html>
- [11] K. Hasegawa *et al.*, "Status of J-PARC Accelerators", Proceedings of 13th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan in Chiba, Japan, Aug. 8-10, 2016, FSP028, pp.1409-1412.
- [12] R. Muto *et al.*, "Beam commissioning of slow extraction at J-PARC Main Ring", Proceedings of 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan in Nagaoka, Japan, Aug. 7-10, 2018, WEP011, pp.305-308.

- [13] M. Shirakata *et al.*, "Layer short on B15D magnet in J-PARC 3-50BT line", Proceedings of 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan in Kyoto, Japan, Jul. 31-Aug. 3, 2019, THOH06, pp.90-94.
- [14] <https://j-parc.jp/c/information/2020/04/20000522.html>
- [15] Y. Komatsu *et al.*, "Beam commissioning of new primary proton beam line at J-PARC Hadron Experimental Facility", Proceedings of 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sep. 2-4, 2020, THPP17, this meeting.