

F3RP71 を使用した SuperKEKB における真空制御

VACUUM CONTROL SYSTEM BASED ON F3RP71 FOR SUPERKEKB

芳藤直樹^{#, A)}, 石橋拓弥^{B)}, 小田切淳一^{B)}, 佐々木信哉^{B)}, 照井真司^{B)}, 中村卓也^{C)}, 中村達郎^{B)}
Naoki Yoshifuji^{#, A)}, Takuya Ishibashi^{B)}, Jun-ichi Odagiri^{B)}, Shinya Sasaki^{B)}, Shinji Terui^{B)}, Takuya Nakamura^{C)},
Tatsuro Nakamura^{B)}

^{A)} East Japan Institute of Technology Co., Ltd.

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

^{C)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.

Abstract

The phase-3 commissioning of SuperKEKB for the physics run is now in progress. The control system of SuperKEKB is constructed based on EPICS. The FA-M3 PLC made by Yokogawa is widely used in the control system. The FA-M3 has the F3RP61 CPU module, which runs Linux as its OS and thus can be used as an IOC. The FA-M3 based IOC was adopted for the vacuum control system. In phase-1 and phase-2 commissioning, it had turned out that CPU performance of F3RP61 is insufficient for the vacuum control system. In phase-3 commissioning, the situation became more severe because of the increased number of points to be monitored and advancement of the control. For this reason, we decided to replace the F3RP61 with the F3RP71, which is the successor of the F3RP61 with higher performance. One F3RP71 was put in operation for evaluation in the first stage of phase-3 commissioning. It has been working fine so far without any problems. This paper reports the result of the evaluation of the F3RP71 in the vacuum control system.

1. はじめに

現在 SuperKEKB は本格的な物理データ取得を行う phase-3 コミッショニングの最中である。

SuperKEKB の制御システムは、KEKB のそれを引き継ぐ形で制御ソフトウェアツールキットである Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS)[1]に基づき構築されている。真空制御システムの特徴は、Fig. 1 に示すように、横河電機社製の PLC である FA-M3[2]を Input/Output Controller (IOC) として使用していることである[3]。

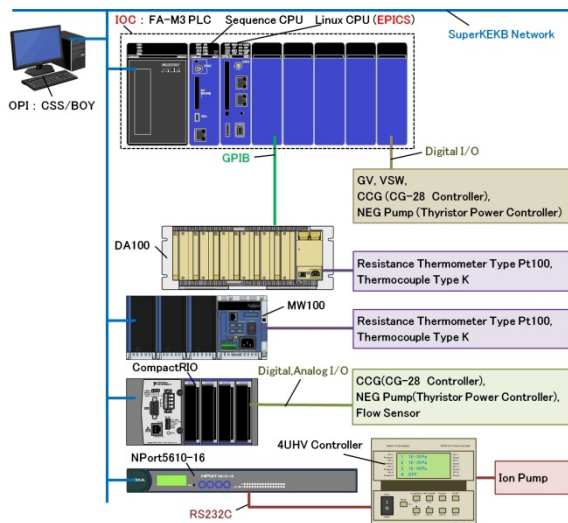


Figure 1: Vacuum control system.

この FA-M3 ベースの IOC は、Linux を OS とする CPU モジュールである F3RP61[4]と、従来型のシーケンス CPU モジュールを併用するマルチ CPU 構成を採っている。特に「堅さ」を求められるインターロックのロジックは、ラダー・プログラムで実装され、シーケンス CPU 上で実行される。被制御機器への ON/OFF 指令の発行と、各種ステータス、温度、真空度、冷却水量などのモニタのためのソフトウェアは、全て EPICS で実装され、F3RP61 上で実行される[5]。真空制御システムで、入出力信号の点数が最も多い D05 電源棟の IOC の機器数と信号点数を Table 1 に示す。

Table 1: Number of I/O Signals at D05 Station

被制御機器	機器数	入出力 信号点数
Gate Valves	8	56
Vacuum Switches	6	6
Cold Cathode Gauge (CCG)	50	210
イオンポンプ電源	13	218
Non-evaporable getter (NEG)	4	98
ポンプ活性化電源		
温度計データロガー	7	360
冷却水流量計	116	116

2. IOC の CPU 処理能力の不足の発生

phase-1 コミッショニング完了後、真空制御システムでは、phase-2 コミッショニングに向けて、Cold Cathode

[#] hig-yosi@post.kek.jp

Gauge (CCG)、イオンポンプ、Non-evaporable getter (NEG)ポンプ、温度、流量の EPICS レコードの追加と、各種シーケンス処理の追加及び変更を加えた。その後、EPICS アプリケーションを起動させたところ、EPICS アプリケーションは起動中に動作が停止した。調査した結果、F3RP61 の CPU 処理能力が不足し、CPU 使用率が 100%に達していた。被制御機器毎の EPICS アプリケーションの負荷を計測したところ、温度モニタとイオンポンプの制御が原因であった。特に、処理の負荷が高い StreamDevice[6]を多用していたことが、CPU に高い負荷をかけていた。

応急の措置として、まず StreamDevice を使用している EPICS レコードのスキャン周期を長くした。また、これまでの運転で使用されていない EPICS レコードを削除した。しかしこの 2 つの対策では改善されなかった。これらの結果から、F3RP61 上で StreamDevice を使用することを止め、StreamDevice を使用している EPICS アプリケーションは全てサーバ計算機上で実行させることとした。但し、温度モニタとイオンポンプの EPICS アプリケーションは、StreamDevice の使用に加え、FA-M3 PLC の I/O モジュールも使用するため、そのまま EPICS アプリケーションをサーバ計算機上へ移行させて実行することは不可能であった。そのため、温度モニタとイオンポンプの各 EPICS アプリケーションを、FA-M3 PLC の I/O モジュールを使用する処理と、PLC の I/O モジュールを使用しない処理に分けて、それぞれ新たな EPICS アプリケーションを構築し、後者をサーバ計算機上で実行させた。この対策により、F3RP61 の CPU 使用率は 85%となり、各種 EPICS アプリケーションを動作させることができた。但し、単純な改修があった場合でも、2 つの EPICS アプリケーションについて作業する必要が生じ、保守性が低下した。

3. F3RP71 の導入の検討

真空制御システムでの F3RP61 の CPU 処理能力の不足が明らかになった際、折り良く F3RP61 の後継機種である、よりスペックの高い F3RP71 が市場で入手可能となった。F3RP71 と F3RP61 の CPU とメモリの仕様を Table 2 に示す。

Table 2: Comparison of Specification

仕様	F3RP61-2L	F3RP71-2L
CPU	PowerPC MPC8347E, 533MHz	ARM Cortex-A9 MPCore, Dual 866MHz
RAM	DDR2 SDRAM 128MB	DDR3 SDRAM 1GB
ROM	FLASH ROM 64MB	FLASH ROM 256MB

F3RP71 の CPU は、性能指標を示す MIPS 値が、F3RP61 の約 4.3 倍の ARM プロセッサとなっている。F3RP71 を導入することにより、前述した IOC の CPU が高負荷である問題を改善できると期待し、同 CPU を実制御システムで評価することとした。また、サーバ計算機上で動作させざるを得なかった EPICS アプリケーションを F3RP71 上に戻せることも期待でき、保守性の改善も見込めた。

4. F3RP71 の試験運用

F3RP71 がコミッショニングに十分耐えうる性能であることを検証するため、試験的な運用を phase-3 コミッショニング開始に合わせて実施した。試験はメインリングの 1 電源棟だけで実施することとし、それまでの真空制御システムで最も CPU 負荷の高かった D05 電源棟の IOC を F3RP71 に置き換えた。また、サーバ計算機上で動作させていた EPICS アプリケーションを全て F3RP71 上に戻した状態で検証した。その結果、現在まで不具合や動作不良などは一切無く、順調に phase-3 コミッショニングで運用できている。phase-3 コミッショニング中、F3RP71 の CPU 使用率を監視[7]した結果、Fig. 2 に示すように、平均で約 15%であった。F3RP71 は phase-3 コミッショニングに対して十分な処理能力を持っている事が分かった。参考までに、F3RP71 の実メモリの使用量は、平均で約 20%であった。実メモリに関しても F3RP71 では十分に余裕があると判断できた。

これらの結果から、F3RP71 は、安定性と信頼性、処理能力のいずれも高く、phase-3 コミッショニングに問題なく耐えられることが分かった。今後のモニタ点数の追加や機能追加を考慮しても、十分に余裕があると思われる。

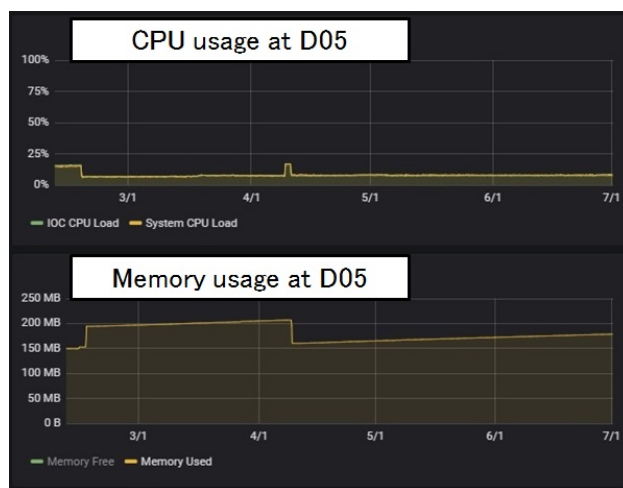


Figure 2: CPU and memory usage.

5. F3RP71 の導入

F3RP61 の試験運用の結果を受け、真空制御システムでは、電源棟 D05 以外のメインリングの 11 台、ダンピングリングの 1 台も F3RP71 に置き換えた。参考までに、置き換え前後の電源棟毎の CPU 使用率を Fig. 3 に示す。但し、置き換え前の F3RP61 の CPU 使用率は、温度とイオンポンプの EPICS アプリケーションをサーバ計算機上で実行している状態の数値であり、置き換え後の F3RP71 の CPU 使用率は、EPICS アプリケーションを全て F3RP71 上で実行している状態の数値である。また、phase-3 コミッショニングの運転が停止している状態で計測した結果である。

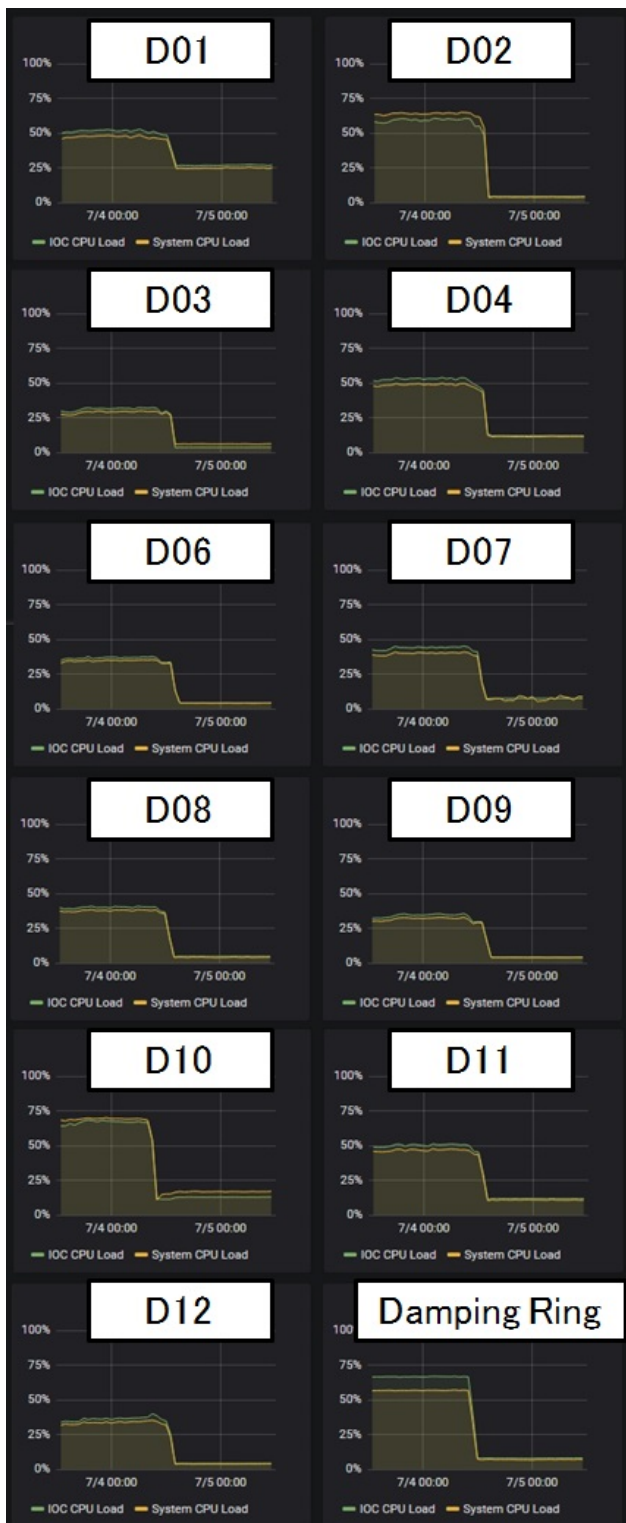


Figure 3: CPU usage at main ring and damping ring.

F3RP71 に置き換えた結果、全ての電源棟の CPU の負荷が改善されていることが分かる。このうち、電源棟 D01 の CPU の負荷が置き換え後も比較的高い値となっていることが分かる。この原因は、他の電源棟よりも多くの StreamDevice を使用しているためである。今後 phase-3 コミッショニングが再開した際には、この IOC の CPU の負荷を監視する必要がある。

6. まとめ

SuperKEKB の真空制御システムでは phase-1 コミッショニング完了後から phase-2 コミッショニングに向けて EPICS アプリケーションの改修の途上で、F3RP61 の CPU 処理能力が不足した。この問題は F3RP61 の後継機種である、よりスペックの高い F3RP71 に置き換える事で解決する事が期待された。そこで真空制御の実システムで F3RP71 の評価試験を行った。結果は良好で、試験期間中、F3RP71 は何も問題なく動作し、十分な CPU 処理能力を有していたため、phase-3 コミッショニングに問題なく耐えられることが分かった。この結果を受けて、真空制御システムでは、メインリングの真空制御用の 12 台、ダンピングリングの真空制御用の 1 台を F3RP71 に置き換えた。これにより保守性、安定性の高い真空システムの制御を行える事が期待される。

謝辞

F3RP71 の導入に際して、J-PARC 制御グループの山田秀衛氏に多々のご助力をいただきました。同氏に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] <https://epics.anl.gov/>
- [2] <https://www.yokogawa.co.jp/solutions/products-platforms/control-system/programmable-logic-controller/plc-fam3v/>
- [3] J. Odagiri *et al.*, "Integration of PLC with EPICS IOC for SuperKEKB Control System", Proc. of ICALEPCS2013, San Francisco, US, Oct. 6-11, 2013, pp.31-34.
- [4] <https://www.yokogawa.co.jp/solutions/products-platforms/control-system/real-time-os-controller/rtos-cpu/rtos-linux-cpu/>
- [5] N. Yoshifuji *et al.*, "SuperKEKB での真空制御ソフトウェアの現状", Proceedings of the 14th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sapporo, Japan, Aug. 1-3 2017, pp.613-616.
- [6] <http://epics.web.psi.ch/software/streamdevice/doc/>
- [7] S. Sasaki *et al.*, "SuperKEKB における Zabbix を用いた監視システムの構築", in these proceedings.