

J-PARC MRのタイミングシステム 運用10年とトラブル報告

Aug.01, 2019 加速器学会年会(京都)



上窪田紀彦 (J-PARC/KEK)

佐藤健一 (J-PARC/KEK)

田島佑斗、吉田奨 (関東情報システム)



Introduction

はじめに

- この講演の目的

- J-PARC Timing System …… の説明はほとんどしない
 - 最低限の説明だけ

“Operation Status of J-PARC Timing System and Future Plan”
N. Kamikubota et al, ICALEPCS2015 など参照

- MR Timing 10年の運用で起こったトラブルの紹介
 - 皆さまに笑っていただく
 - 背景にある原因を分析

- 次世代Timingシステムへの期待

- 次世代システムが、MR Timingトラブルの対応策になっていることを示す

- 次の講演(THOI08)の露払い

「J-PARC次世代タイミングシステム」by 田村文彦



* ちよい絵は「いらすとや」を使用

J-PARC Timing System 概要

設計・実装の時期

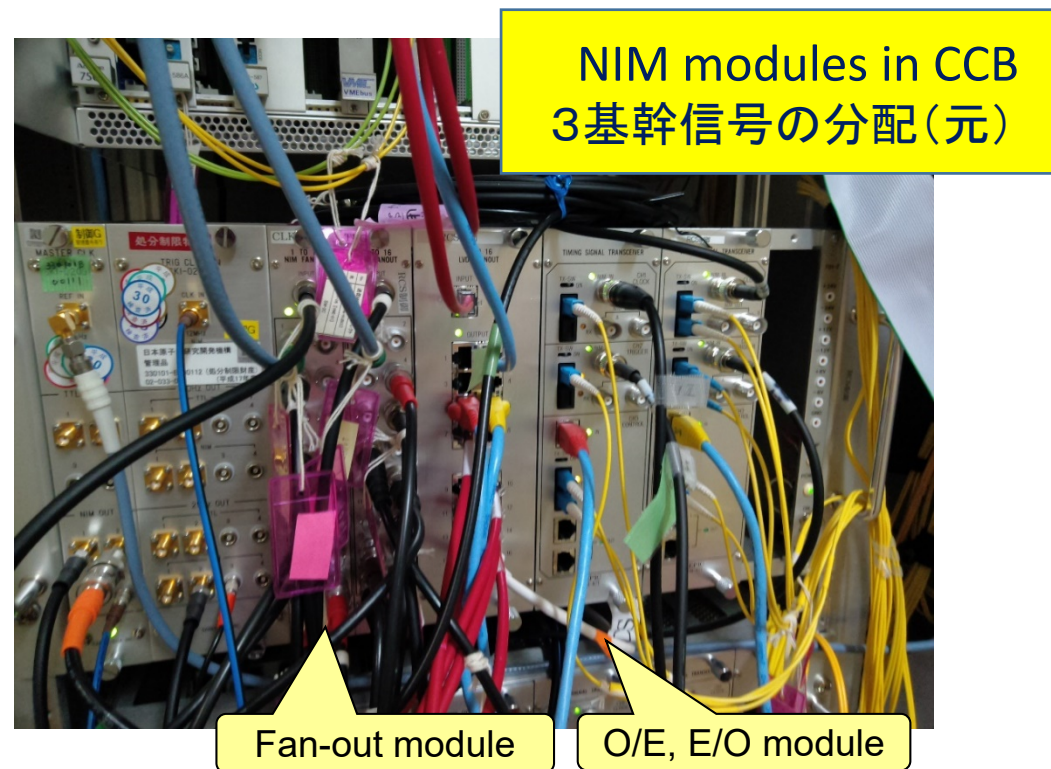
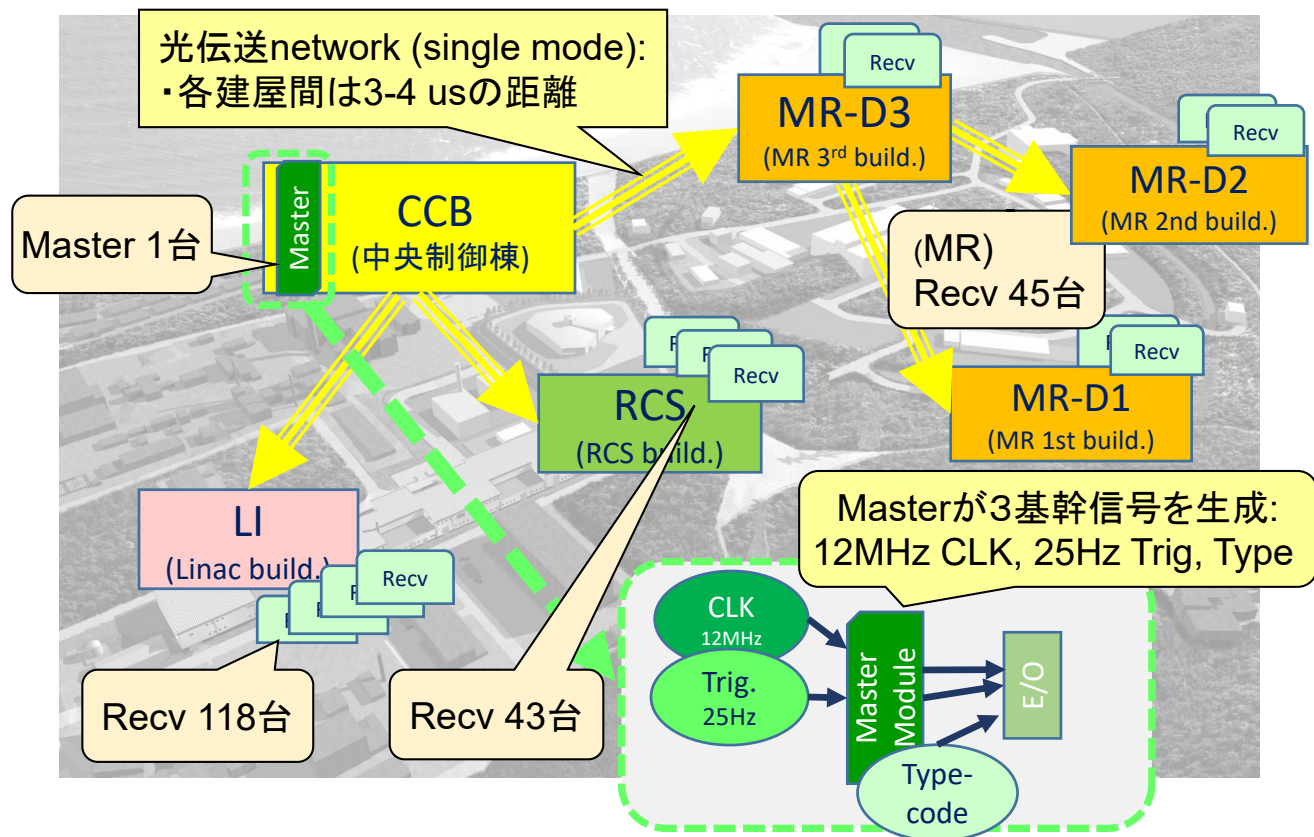
- KEK&JAEA職員によるモジュール設計は 2002-2004
- Hardware製造は会社に依頼 (2003-2006)
- J-PARC加速器への実装は2005-2007
- ビーム運転開始は2006(LI),2007(RCS),2008(MR)

Modules

- Master and Receiver (VME-bus) は日立造船
- 基幹信号のO/Eや trigger信号生成 (NIM module) は林栄 (現H-REPIC)

規模

- (VME) Masterは1台、Receiverが約210台 (各建屋に分散)
- (NIM) 数100台、(信号数) ~550(LI)、~220(RCS)、~300(MR)



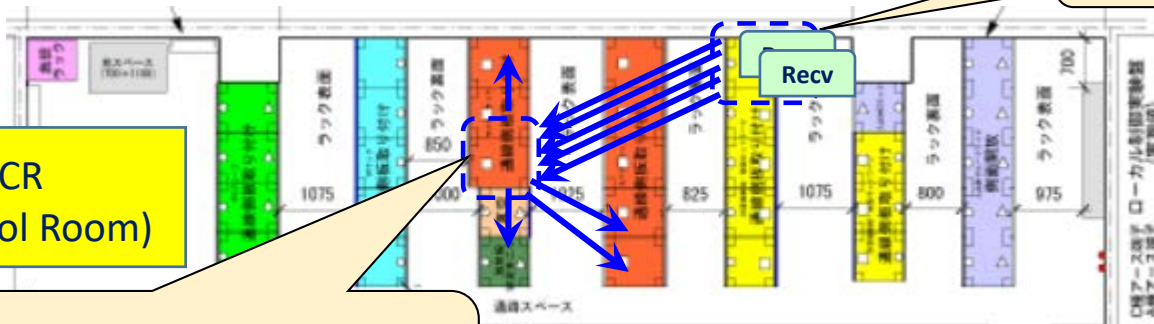
J-PARC MRのTiming 信号の分配

• MR電源棟のtiming trigger信号の分配

C1rack: MON用ReceiverでTrigger信号を生成

(D3の例)

D3 LCR
(Local Control Room)

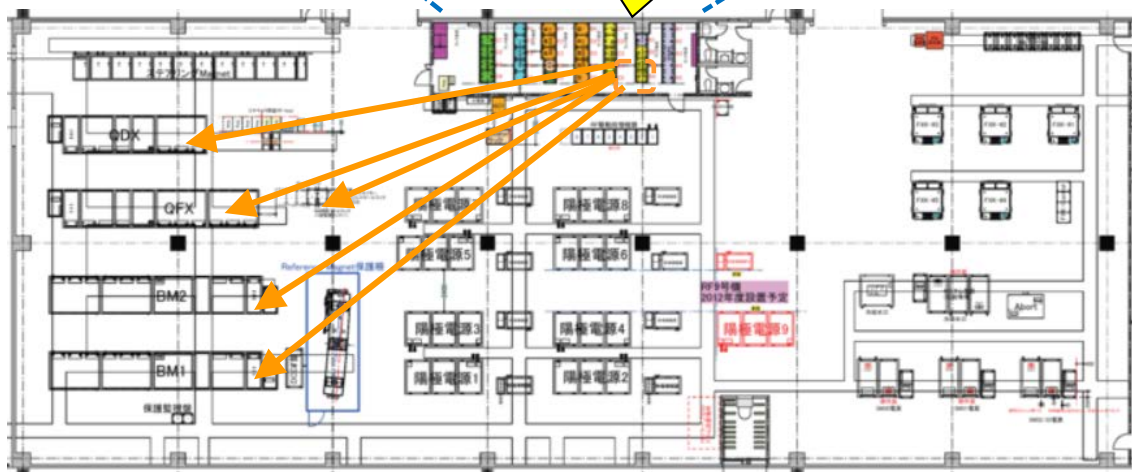


E3rack: MON用のtrigger信号の受け口
ここから各Monitor機器に信号を分配する

建設期の構想:

- LCR (Local Control Room)内は**メタル線**で信号分配
- 例) Beam Monitor(MON)
C1ラック(MON用向けReceiver 数台)
E3ラック(MON内の信号中継部)

D3 LCR



建設期の構想:

- LCRの外へは**光ケーブル**(MM)
- 例) Magnet (MAG)
B4ラック(MAG向けReceiver 数台+光E/O多数)
各電源の筐体は光でtrig信号を受ける

トラブル紹介

運用10年とトラブル

- Timing systemは、MRは10年 (J-PARC全体では12年) 運用してきた
 - 規模: 1 master、~210 receiver modules (118 for LI, 43 for RCS, 45 for MR, +その他少数)
信号点数 ~1100 set-points (~540 for LI, ~220 for RCS, ~300 for MR, etc)
 - ハードもソフトも独自に開発・整備
 - 短周期25Hz(40ms)と長周期(2.48s/5.20s)が矛盾無く共存
 - 複数のビーム行先(MLF+Neutrino or MLF+Hadron)に対応したEvent-based system
 - => **大きなトラブル無く10年以上稼動し、ビーム運転に貢献した**
(小さなトラブルは時々)
- では、10年の間にどんな(小?)問題が起こったか?
MRでのトラブルは・・・
3つだけ紹介する



運用10年とトラブル（続き）

• トラブル1 : Steer電源トリガ抜け事件

• 発端(2015.11)

- Hadron実験Groupから、稀にBeam profilが太るshotが出る、と連絡を受ける； 11/16-24に4回。
- COD解析から、**D1 steerin電源のトリガが抜けた**と推定

時期	抜け具合	対応
2015.11月	11/16-24の間に、4回の抜け疑い事象	<u>D1-LCR(光送信側)の対応 (11/25)</u> <ul style="list-style-type: none">• NIM-RPN1060 moduleで, ch2をch1に変更• 抜け検知用の計数回路を構築、ch2を継続観察 => 11/25-1月末(約2ヶ月)、ch2出力抜けは無かった
2016.1月末	2か月間 抜け無し	<ul style="list-style-type: none">• 抜け検知計数回路を片付け• NIM RPN1060 moduleを交換、ch1からch2に戻した• 1月末、念のため RPN1060を交換

• 再発(2016.03)

- **3/13 抜け発生**、その後Steer電源用trigge信号の光伝送路を疑い、順番に予備と交換してゆく

運用10年とトラブル（続き）

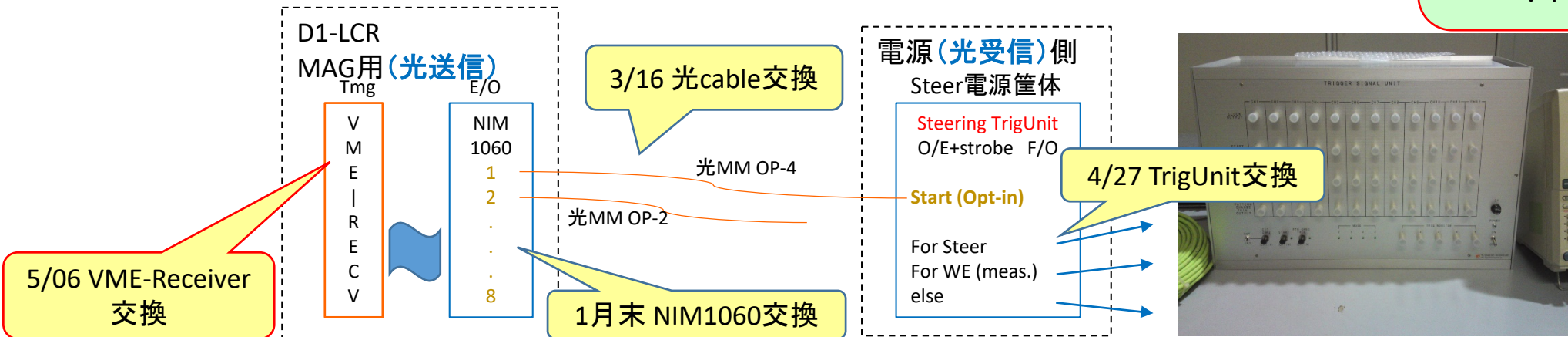
• トラブル1 : Steer電源トリガ抜け事件（続き）

- 再発(2016.03) – 悪化(2016.04)

時期	抜け具合	対応
2016.3.13	• 3/13 #301503で 抜け事象疑い	<ul style="list-style-type: none"> • 3/16 LCR-Steer筐体間の光ケーブルを予備線(OP-4)に交換 3/16 光NIM O/E RPN1060 の、ch2をch1に変更 • 4/24 Steer波形記録から抜けを検知するprogramが出来る
2016.4.24	• 4/24 4 shot連続抜けた	• 4/27 Steer電源筐体内のTrigUnitを交換
2016.4.30-	<ul style="list-style-type: none"> • 4/30 1shot 抜けた • 5/02 4shot 抜けた • 5/21 抜けた 	• 5/06 D1-magのTmg受信moduleを交換

5/06までに、伝送路の光関連ユニットやモジュールは、**すべて入れ替えた。**

••けれど5/21 また抜け発生



運用10年とトラブル（続き）

• トラブル1 : Steer電源トリガ抜け事件（続き）

• 解決へ(2016.04-05)

- 4/末頃、問題は光伝送路ではなく、Timing Receiver (VME)の誤動作、と疑って調査
当該Timing Receiverの、LVDS通信error記録とトリガ抜けが発生した時刻が一致

- 5/25 外来ノイズ対策として、当該Receiverや周辺の信号線（特にLVDS）にferrite-coreを装備

その後、Receiverの通信エラーも、Steer電源トリガ抜けも消滅した
LVDS回線（メタル線）からの外来ノイズによるReceiver(FPGA)の誤動作、と結論

• メモ

- 異常発生頻度が低いと、原因を特定して対策するのに時間がかかる => 半年
- Receiverのエラーは、それ以前のもの（通信hardware error）と異なって、FPGA が受信dataを判断してエラーにするものだった
- 当時の経験則が効かず、すぐに発見できなかった

運用10年とトラブル（続き）

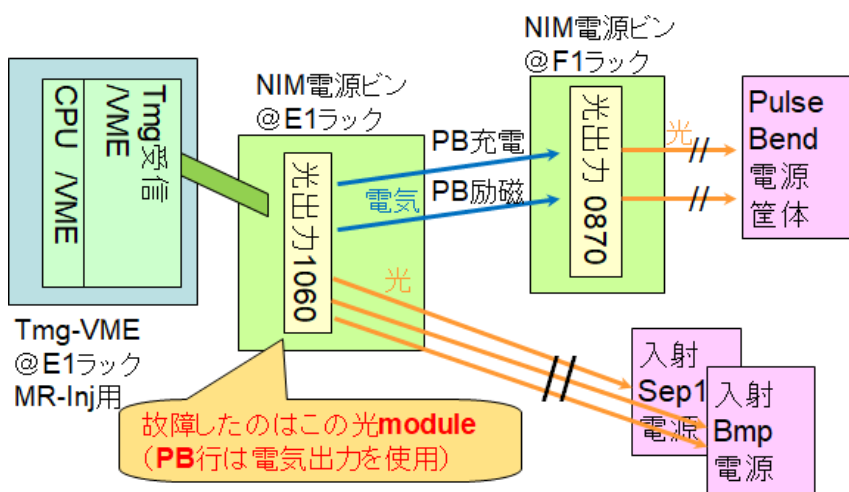
トラブル2: NIM module fuse切れ問題

• NIM module (光送受信) のfuse切れ: 背景

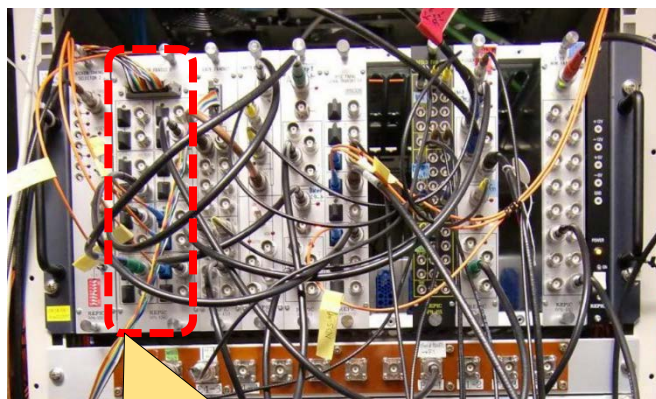
- MR建設期(2006-)に導入した**NIM光module (複数種)**は約**100台**である
- 2010.12-2018.03に、MRで**14件のfuse切れ**
 - 7種類のNIM光module (送信/受信、SM/MM、など様々)でFuse切れ(-6V)が発生
 - Fuse切れの頻度は、2010-2015は年1回弱だったが、**2016から年3回に増加**
 - 2018年1-3月(わずか3か月)に3回fuse切れがあり、うち**2回はビーム運転に深刻に影響した**

そもそもこのfuseは回路保護のため
(普通の使用状態で切れるはずはないもの)

• 例) 2018.1.20 MR D1のPulseBend用**光出力(RPN-1060)のfuse切れ**



NIM電源ピン@MRD1-E1ラック



- PulseBend出力が出ず、beamが予定外にMLFへ出た(MRに来なかった)
- たまたま低強度での1shot study中で、MLFに影響は無かった

運用10年とトラブル（続き）

トラブル2： NIM module fuse切れ問題（続き）

- NIM module（光送受信）のfuse切れ： 対応
 - LIでも2015-2016に RPN-471(SM送受信モジュール)のfuse切れが頻発していた（月1ペース）。
 - LIではModule制作時(2005-2006)に使ったfuseの不良と判定、RPN-471のfuse総交換を実施した
 - MRでは2018年度に、**対象光moduleのfuse交換**を実施した
 - (4/20-8/31)で84台、(10/12-11/08)で11台、(1/11-2/08)で4台；
 - 2018以前の修理分と合わせ**計108台を対処**

2019.7時点で、fuse交換後は (LIもMRも) NIM光moduleのfuse切れは起こらなくなった

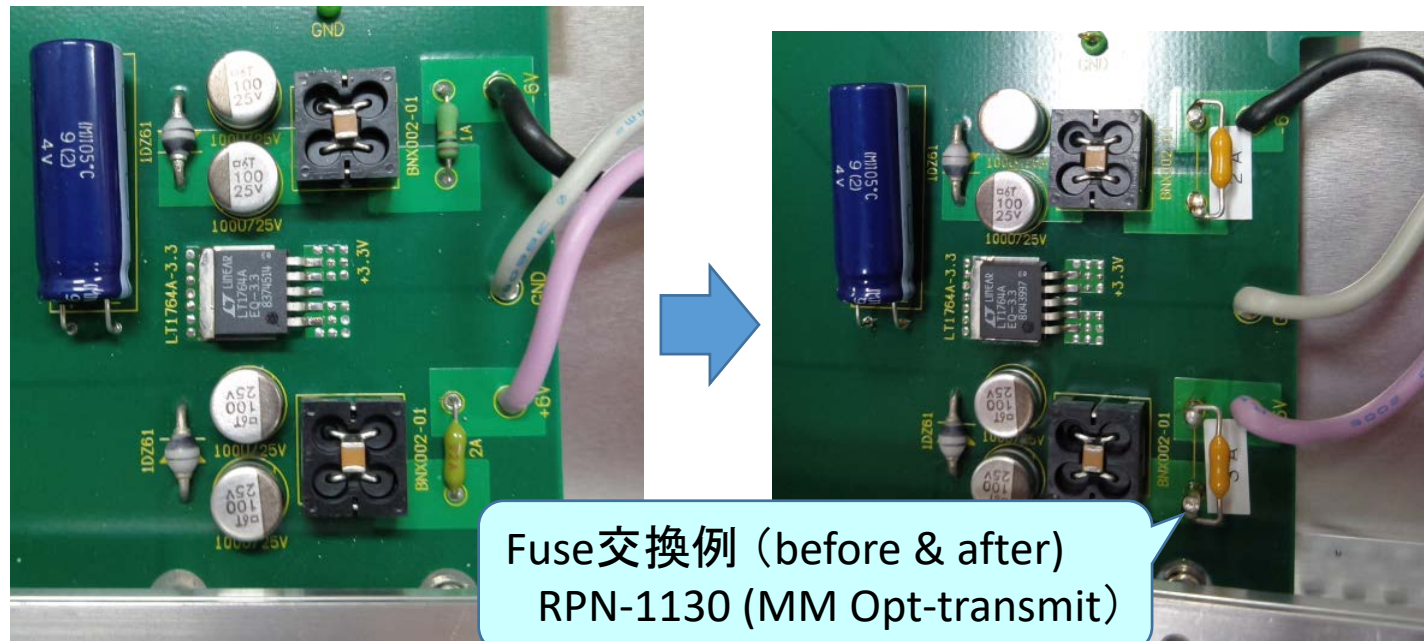
LI 伊藤Y氏資料(2017.5)から

- A : 怪しいFuse, 2005-2006
- B: (Littelfuse 251 Series 3A)
- C : (Littelfuse 251 Series 3.5A)

A

B

C



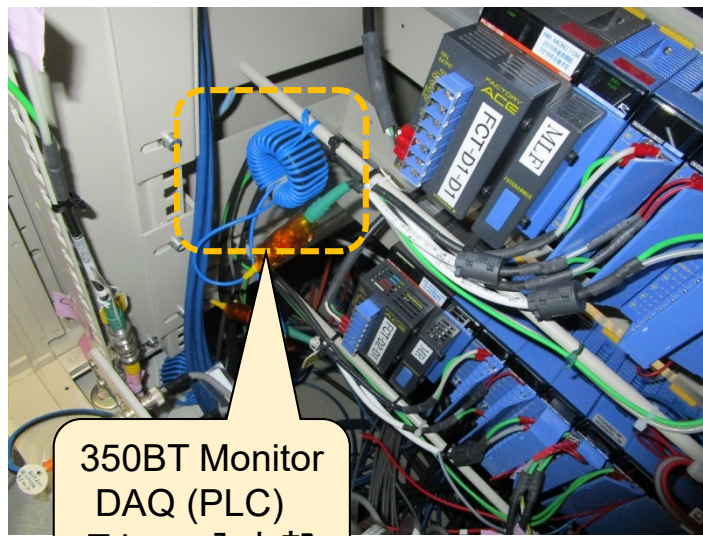
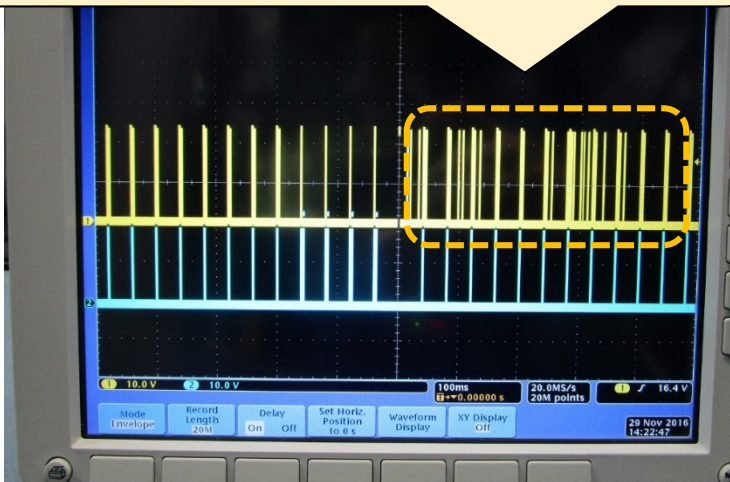
Fuse交換例 (before & after)
RPN-1130 (MM Opt-transmit)

運用10年とトラブル（続き）

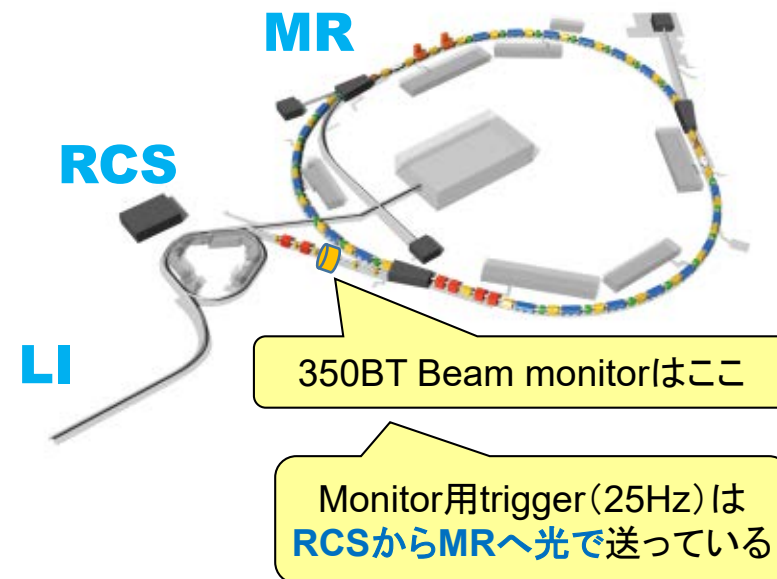
トラブル3: Unreqbeam MPSが頻発(偽25Hz)事件

- 2016/11/22以降、1日数回 UnreqBeam MPSが発報; 加速器運転停止
 - MR入射路(350BT)のBeam Monitorが、MR入射時間では無いのにTriggerを検知すると発報する
 - Monitorの**入力trigger(25Hz)**で偽pulseが混入していると判明
 - このTrigger (25Hz)は、RCS側のkicker用triggerを光にしてMRまで送っている
- 偽pulseの混入場所はどこだ？
 - RCS Timing室からMR D1棟まで、**下流から上流へ順番に調査**
<下流 (MR-D1電源棟D5rack) -> (MR-D1 C5rack) -> (MR-D1 E4rack) --->(光)---> 上流 (RCS Timing室) >

RCSから送られてくるMonitor用の25Hz信号
25Hzなら等間隔のはずだが??



350BT Monitor
DAQ (PLC)
Trigger入力部



350BT Beam monitorはここ

Monitor用trigger(25Hz)は
RCSからMRへ光で送っている

運用10年とトラブル（続き）

トラブル3: Unreqbeam MPSが頻発(偽25Hz)事件(続き)

偽pulse発生場所の特定

- （下流から調べていたが）RCS側(最上流)のNIM O/E module(RPN-511)で偽pulse発生を確認
- 12/01 **予備のRPN-511と交換して解決**

UnReqBeam MPS発報回数 (2016.11.22から)

	C(朝)	A(昼)	B(夕)
12/01(Thu)	6	8	
11/30(Wed)	2	1	0
11/29(Tue)	10	6	0
11/28(Mon)	0	0	1
11/27(Sun)	1	0	0
11/26(Sat)	1	2	1
11/25(Fri)	0	0	0
11/24(Thu)	0	0	0
11/23(Wed)	3	0	0
11/22(Tue)	0	1	1

RPN-511
交換、解決

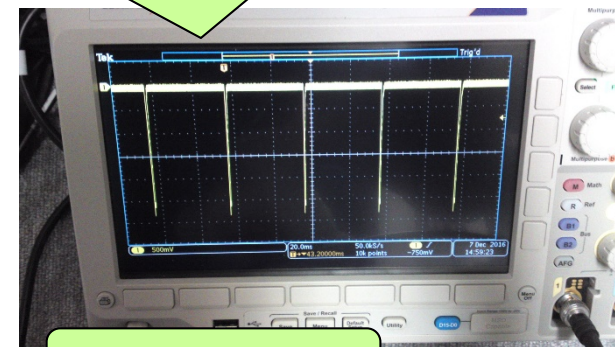
始まり

RCS Timing室の該当部

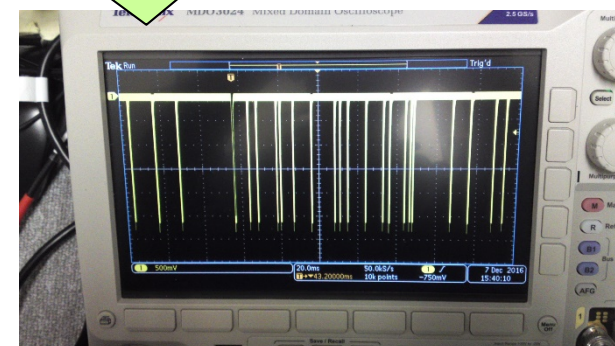


計測した偽25Hz信号

計測開始～(正しい25Hz)



40分後・・・泣(



運用10年とトラブル（続き）

トラブル3: Unreqbeam MPSが頻発(偽25Hz)事件(続き)

- メモ

- 異常発生頻度が1日数回だと、場所を特定するのに時間がかかる
 - このケースでは 11/22-12/01の**10日**
- 特定した光O/E モジュールRPN-511は、老朽化が疑われたが・・・
 - 回収後 中央制御棟で試験しても会社で点検しても**異常は再現しない**
 - =>結局「**原因不明**」なまま**老朽化で使用禁止**とし、dead stockになる
 - 使用していたRCSの**温度環境**などに問題がある可能性は残る

トラブルの分析、そして
次世代システムへ

MR Timingトラブルの分析

- MR Timingトラブルの主たる原因
 - (a) **光伝送系**の異常動作・故障 ; 先ほどの 3. 偽25Hz事件
 - (b) **外来ノイズ**によるmodule誤動作 : 先ほどの 1. トリガ抜け事件
 - (MRだけでなくJ-PARC Timing全体であるが)
 - (c) **老朽化** ; 先ほどの 2. Fuse切れ問題
- (主ではないが)
 - (d) **Human error** (誤操作, software bug)

(a) **光伝送系**・(b) **外来ノイズ**・(c) **老朽化**
全部を解決する美味しい将来は無いだろうか



次世代システムに向けて

- 次世代Timingシステム

- 現行システムを順次置き換えるべく、2015年から検討・開発している
- 2019年秋、新master x1台, 新receiver x28台(LI), 新receiver x7台(RCS) (次世代システム、いずれもVME型) を投入予定

=> 詳しくは次の講演までお待ちください

- MR用には、PLC型受信モジュールを開発中

- 次世代システムと現行システムの違い
 - Receiverは、光素子(SFP)で信号を受ける
 - Receiverが信号出力する時、NIM moduleが不要

- MRのトラブルとの関係

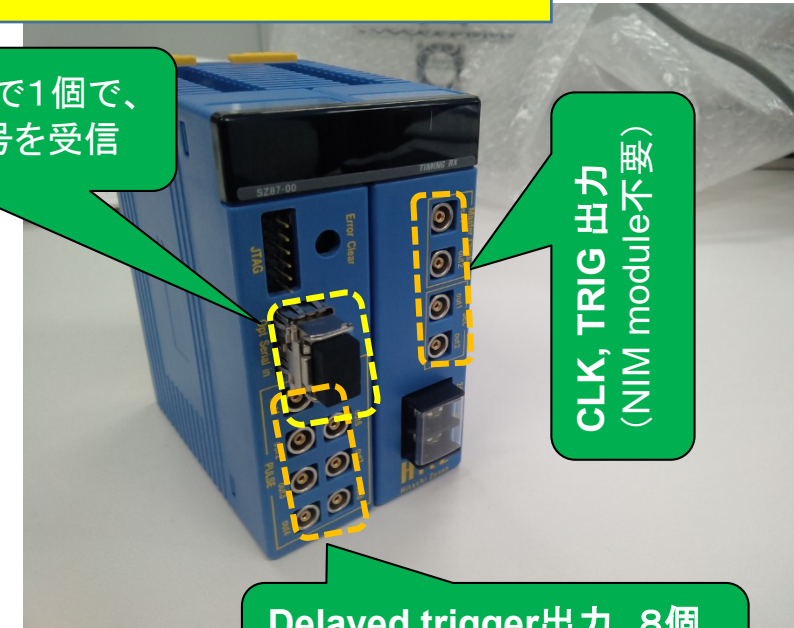
- NIM moduleが無くなって光経路が単純化し、(a)光伝送系の問題は解消に向かう
- 末端までの光化が実現し、(b)外来ノイズに効果的である
- (c)老朽化は、次世代システムに(お金次第だが年月かけ段階的に)更新すれば根本的な解決になる

PLC型receiver 開発中

この光素子(SFP)で1個で、masterから基幹信号を受信

CLK, TRIG 出力
(NIM module不要)

Delayed trigger出力 8個
(NIM module不要)



次世代システムに向けて（続き）

末端までの光化とは

- 次世代システムで、MR電源棟のtiming trigger信号の分配はどうなるか

- 現状

(D3の例)



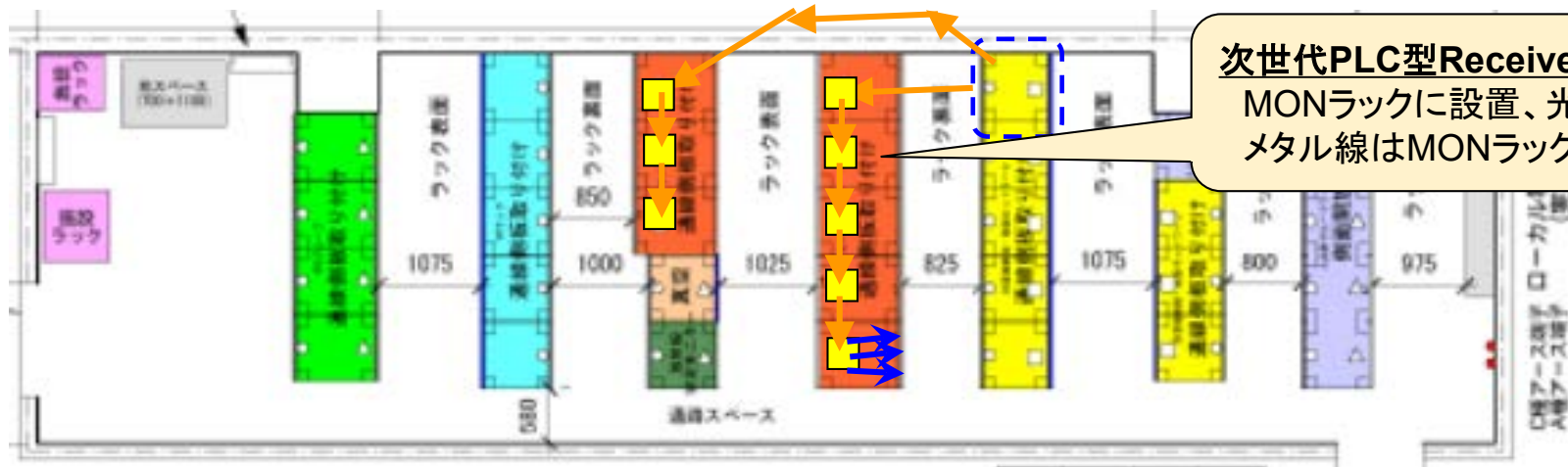
現行Receivers (MON用) の配置
信号瀬性はここ、メタル線が長くなる

現状:
・LCR内は、**メタル線**で信号分配
・LCR外へは**光ケーブル**(MM)

次世代システムの時代:
・LCR内でも、**光ケーブル(SM)**で配信
・LCR外へは**無論光ケーブル**(MM)

- 次世代システムがやってくる新時代(202x-)

(D1の例)



次世代PLC型Receivers (MON用) の配置
MONラックに設置、光回線でつなぐ
メタル線はMONラック内で収まる(3m以内)

■ = PLC型Receiver, 4-8 trig出力、基幹信号伝送は光で

まとめ

まとめ

- J-PARC Timing system (全体)
 - 2006/2007/2008にLinac/RCS/MRがビーム運転開始
 - **大きなトラブル無く10年以上稼動し、ビーム運転に貢献した**
- MR timing系のトラブル紹介
 - トラブル例) Trig抜け、fake trig出現、fuse切れ多発、を紹介
 - 主たる原因) **光伝送系**、**外来ノイズ起因**、**老朽化**、など
- 次世代システム
 - 2015年以降開発中であったが、Master & Receiverを 秋から運用の予定
 - MRで期待される効果
 - 光経路単純化による**光伝送系の信頼度向上**
 - 末端までの光化による**外来ノイズ影響の除去**
 - 機器更新で**老朽化問題の一掃**



Thank you
For your attention

Appendix

J-PARC Timing: Facts

1.J-PARC is an accelerator complex located in Ibaraki, Japan

1. **Rapid** cycle: LI(400MeV Linac) and RCS(3GeV) - 25Hz
2. **Slow** cycle: MR(30GeV Main Ring) - 2.48s or 5.20s

2.Hardware

1. **Home-design VME modules** for control, NIM modules for signal generation (not MRF-based)

3.Software

1. Developed by ourselves
2. EPICS and its tools are used in general
3. Java and python are preferred for table-data handling (epics waveform)

4.Scale of the system

1. One Send-module (=EVG)
2. LI/RCS/MR – 118/43/45 **VME receiver-modules(EVR)**, ~540/220/300 endpoints

For more, please refer

“OPERATION STATUS OF J-PARC TIMING SYSTEM AND FUTURE PLAN”,

N. Kamikubota et.al, at ICALECS2015

Timing: timing basic spec - J-PARC



- Spec for trigger-delay
 - Minimum preset delay = 10.4ns (1/96MHz)
 - Maximum preset delay = 10.4ns x 10e24 (~175ms)
 - Jitter of re-produced 12MHz clock = ~a few x 100ps
 - Slow drift between buildings = ~0.1ns per day, due to temperature change
 - Monthly/Annual drift should exist, but not measured

Ref) Synchronization timing in J-PARC

Synchronizations between LI and RCS, and between RCS and MR need better accuracy (better than 10.4ns)

=> special delay module with 2ns accuracy are used

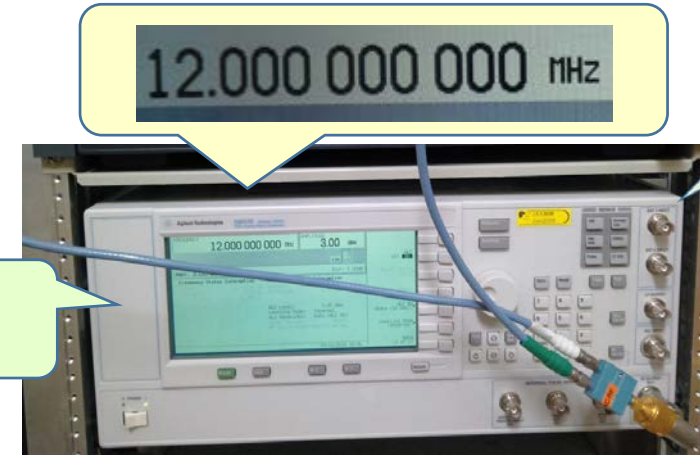
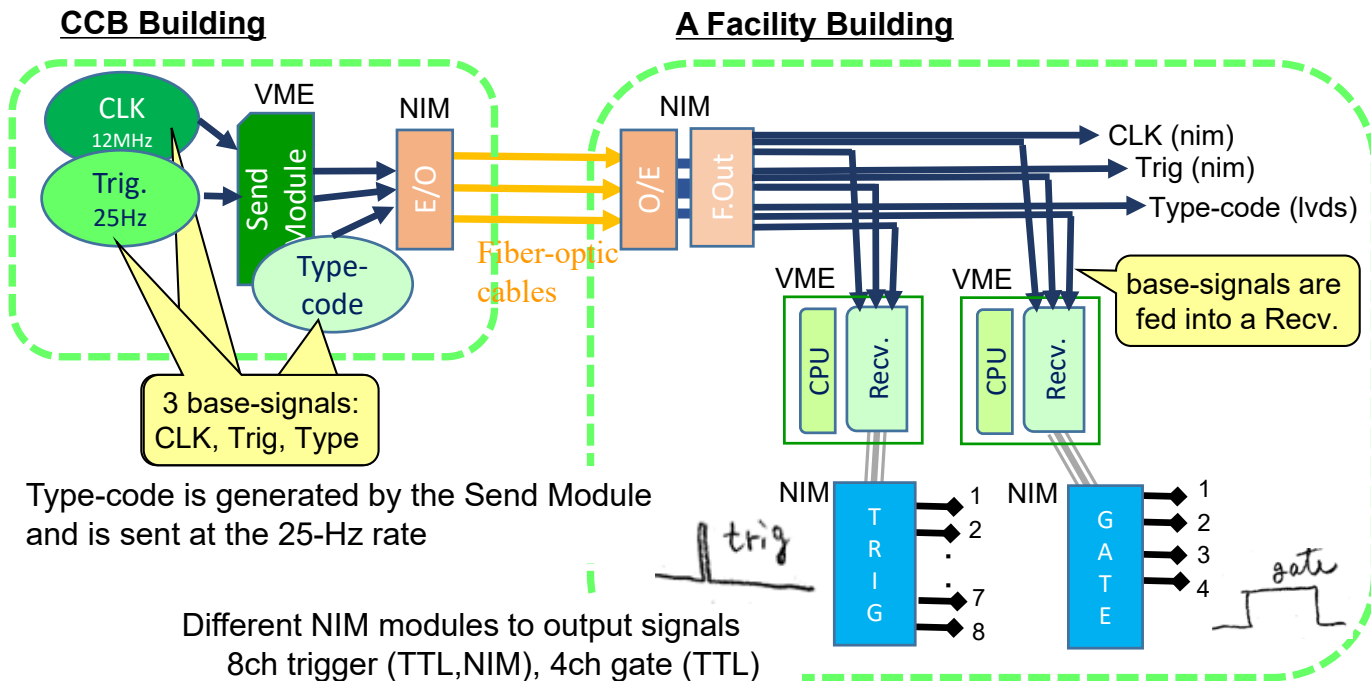
direct fiber-optic signal cables between two accelerators are used

- Scale of the system
 - 1 master module
 - ~210 receiver modules (118 for LI, 43 for RCS, 45 for MR, and some more)
 - ~1100 set-points (~540 for LI, ~220 for RCS, ~300 for MR, etc)

Timing: timing hardware - J-PARC



- A Master oscillator to generate 12MHz Clock
- A send module (timing master, VME) and receiver modules (VME)
- NIM modules to generate trigger or gate signals



Master Osc.



Old timing master
Seq. Pattern 4個

Current timing master
Seq. Pattern 64個

Receiver module
8 setpoints per module

Receiver module

- New timing hardware modules (VME-based master, receiver; PLC-based receiver) are in test

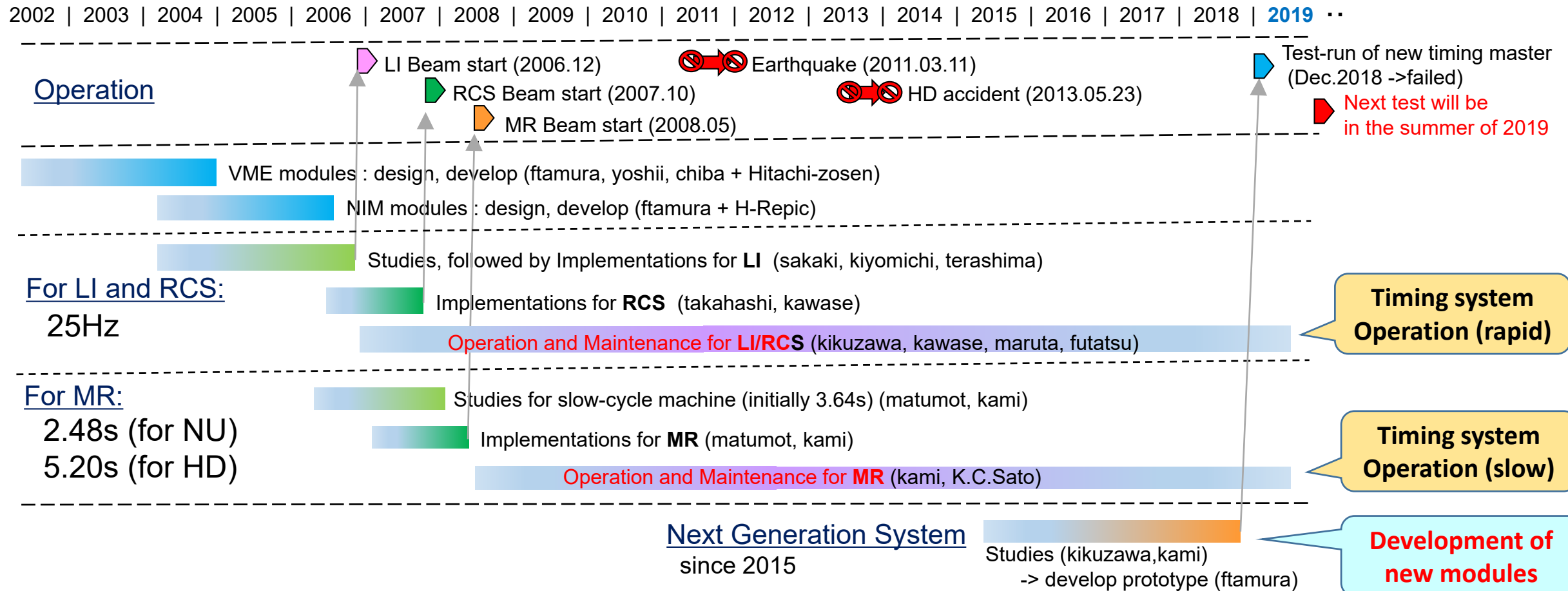
Overview: history

- In-house design

- Designed by KEK&JAEA staff members in 2002-2004
- Asked companies to develop modules in 2003-2006
- Installed in 2005-2007

- Developed by companies

- Core modules (VME-bus modules) were by Hitachi-Zosen (Hitz)
- NIM modules for facility-wide timing network were by H-Repic



2012.10 通信障害例

J-PARC MR運転 初期のころの
Timing receiverが受ける外来ノイズ影響

• 2012.10 D1(Inj) Tmg Receiver(587)のLVDS通信エラー <資料>

LVDS通信エラーは、VME Receiverのstatus registerで確認でき、記録が残る

INJ用タイミングの第1モジュール(tioc-inj-d101:TCMR0)が、不気味な LVDS=Type列通信不良を繰り返すようになりました。下の例で8005が通信不良(通常8007)ですが、ごく短時間の不良・リカヴァリが9時台の1時間で10回発生しています。18日くらいから通信不良頻度が増えています。

<不気味な通信不良の例1> 10/24 9時台のfail (10回)

```
10/24/2012 09:11:21.0 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8005h
10/24/2012 09:11:22.0 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8007h
10/24/2012 09:18:52.5 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8005h
10/24/2012 09:18:53.5 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8007h
10/24/2012 09:19:34.6 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8005h
10/24/2012 09:19:35.6 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8007h
10/24/2012 09:22:20.7 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8005h
10/24/2012 09:22:21.7 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8007h
10/24/2012 09:25:06.9 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8005h
10/24/2012 09:25:07.9 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8007h
10/24/2012 09:39:44.8 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8005h
10/24/2012 09:39:45.8 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8007h
10/24/2012 09:41:38.9 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8005h
10/24/2012 09:41:39.9 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8007h
10/24/2012 09:49:52.4 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8005h
10/24/2012 09:49:53.4 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8007h
10/24/2012 09:53:45.6 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8005h
10/24/2012 09:53:46.6 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8007h
10/24/2012 09:58:10.9 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8005h
10/24/2012 09:58:11.9 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8007h
```

<不気味な通信不良の例2> 10/06 1日分のfail (4回) <まだ少ない

```
10/06/2012 03:17:57.8 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8005h
10/06/2012 03:17:58.8 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8007h
10/06/2012 03:55:37.1 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8005h
10/06/2012 03:55:38.1 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8007h
10/06/2012 05:56:38.6 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8005h
10/06/2012 05:56:39.6 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8007h
10/06/2012 12:47:04.9 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8005h
10/06/2012 12:47:05.9 tioc-inj-d101:TCMR0:status 8007h
```

☆ status 8007h->8005h(一瞬flip (LVDS通信途絶) の回数

	inj-d101	vac-d101
10/04	0	1
10/05	0	0
10/06	4	0
10/07	3	0
10/08	1	0
10/09	15	1
10/10	38	0
10/11	34	0
10/12	0	0
10/13	0	0
10/14	0	0
10/15	33	2
10/16	4	0
10/17	117	2
10/18	197	0
10/19	400	2
10/20	378	8
10/21	327	11
10/22	373	13
10/23	324	0
10/24	180	0

<- MR 立ち上げ開始

周辺の電源機器が動き始めると、Receiverの通信エラーが急増する

LVDS配線(メタル)にトロイダルコアを付けると効く

10/25 104 / 0-11時まで = 9.5/hr
TCMR交換 (11時すぎ)
63 / 1130-1530 = 15.8/hr
=> TCMR受信モジュールを交換 効果なし

コア増設してノイズ対策 (16時ごろ)
10/25 16時~10/26 17時 MR VAC leakでNU向け運転停止、
10/26 昼からMR調整運転開始、夕方からNU向け運転再開

10/26	0	0	<- MR 運転再開
10/27	2	0	

なぜNIM moduleのfuseが切れるか (よくわかっていない)

• 特徴

- -6Vのfuseが切れる(ことが多い)。-6Vは、光素子が使う電圧である。
例) RPN-1130の-6Vは、カタログでは0.5A消費である(が、1Aで切れる)
光素子が無いNIM moduleでfuseが切れることは無い
- 7つの異なる光moduleでfuse切れが発生している。
 - fuse切れが起きていない光moduleもあるが、総数は各10個程度なので、「切れない」とは言えない
 - SMもMMも、送信でも受信でも、場所はD1/D2/D3のすべてで、fuse切れが発生している
- Fuse切れの瞬間に、NIM電源ビンの-6V dropが起こっている可能性
 - MRの2010.12事象(同じNIMビンの他moduleが影響された?)、LIの(2016?)25Hz抜け調査時の電圧dropの検出

• 原因はわかっていない

- 仮説1) Fuse自身の経年劣化(おのずから切れる)
 - 今回の計画的fuse交換で劇的に改善することを期待
- 仮説2) NIM電源の-6V供給がdrop(電圧瞬間低下->電流確保->fuse切れる)
 - こちらの可能性も残るので、各電源棟で光moduleが集まるNIM電源ピンは、優先して更新している
2016夏: D3で1台、2018夏: D1で2台、つづきは来年度?

過去のFuse切れ事件(MR、2008-2018夏まで)

日付	Module名	M光種	M納品時期	場所	故障影響範囲	ビーム運転影響	その他情報
14 2018/3/29	RPN-1060	MM送信	Nov.2007 No.006	D2 mag用	D2 Steer, SkwQ, etc.	停止(6時から約5時間)	4/06修理依頼、5/24修理品戻る
13 2018/1/22	RPN-1020	SM受信	Mar.2008 No.005	D2 RF信号停止	RF信号が停止	無し	4/09 fuse切れ確認、4/26修理依頼、5/11受取り、!
12 2018/1/20	RPN-1060	MM送信	Nov.2007 No.013	D1 PulseBend用	PE動作せず	MR調整中に切れ、急にM	Fuse切れ(+6V)
11 2017/10/12	RPN-1130	MM送信	Sep.2012 No.022	D2 mag WE用	Mag波形監視停止	無し(夏季保守、ビーム再開前)	
10 2017/8/25	RPN-1060	MM送信	Nov.2007 No.012	D1 mag WE用	Mag波形監視停止	無し(夏季保守)	
9 2017/1/12	RPN-471	SM送受信	Nov.2007 No.098	D3 C5rack(集約音 → 2018/4/20時点、D2-B4rack(mag)で暫定使用中	MR全域tmg信号停止	無し(メンテ日にFuse切れ)	Fuse切れ(マイナス6V 3A)、着脱式に改造
8 2016/10/14	RPN-870	MM送信	2007前? No.009	D3 FxK用魔改造	FxK(Abort)用	?	2018/4/06修理(依頼が1年半遅れた)
7 2016/6/8	RPN-1060	MM送信	Nov.2007 No.007	D3 B2?rack(FX用)	FxK, FxSep停止	無し(メンテ日にFuse切れ)	
6 2016/6/8	RPN-1060	MM送信	Nov.2007 No.010	D3 C4rack(MPS)	未使用(予備)	無し	
5 2015/6/29	RPN-1020	SM受信	Nov.2008 No.012	D3 C5rack(推定)	RF(MR周回信号)停止		Fuse切れ(マイナス6V 1A)
4 2014/11/14	FxK特殊	MM受信	FX-Gr専用機	D3 室外FX専用機	FxK停止	停止(17時から4時間弱)	Fuse(1A)をバイパスで仮復旧
3 2014/10/31	RPN-1020	SM受信	Oct.2010 No.020	D1 E4rack(集約部)			
2 2011/11/?	RPN-870	MM送信	2007前? No.010	D3 A3rack(FX)		無し(地震で停止時代)	
1 2010/12/7	RPN-1020	SM受信	Mar.2008	D1 E4rack(集約部)	RF信号が停止	12/04の謎のInj系MPSと	fuse切れ(マイナス6V)
0 不明	RPN-1031	SM送信	Mar.2011 No.13	CCR(2018/04)			fuse切れ修理の痕跡あるも記録なし