

**Report of the 5th J-PARC MuSAC meeting
KEK laboratory, January 11, 12 and 13th 2007**

Presented to J-PARC director by J.-M. Poutissou , Chair

March 31, 2007

Table of Contents

Executive summary

Introduction

Accelerator progress

MUSE Facilities progress

Recommendations

Initial Operation Budget

User support and user interactions with J-PARC User Center

Why are Ultra-slow muons so critical for J-PARC

Evaluation of Letters of Intent (LoI)

Conclusions

Appendices

Appendix A : MuSAC #5 Committee Membership

Appendix B : MuSAC #5 Agenda

Appendix C : List of Letters of Intent Received

Executive Summary :

The Muon Science Advisory Committee (MuSAC) met at KEK on January 11, 12 and 13 2007 to review the progress in the construction of the J-PARC muon facility (MUSE), to comment on some of the 24 Letters of Intent which had been previously received from potential users and which had not been heard at the MuSAC4 meeting, to consider the transition in the organization to prepare for the beginning of beam operation and to review the plan for the development of the beam facilities in the second phase of the construction.

The overall progress on J-PARC facilities is consistent with maintaining the approved schedule for the turn-on of the accelerators, and the Committee was pleased to hear that the Injection LINAC had achieved acceleration to 50 MeV without any difficulty. This bodes well for the quality of the machine and its careful implementation. The difficulties encountered with the RF cavities breakdown are being addressed and some have met the 1000 Hours high power tests requirements.

On the technical side for MUSE, major advances were noted: more than 70 % of the budget is committed, installation of components is in progress and on schedule, and preparations for initial commissioning and operation are underway. The team is working very hard with a minimal budget and is meeting its milestones.

The concern raised at the last meeting — that the requested 100ns proton pulse width might possibly, seriously, compromise the full beam power available for neutron users — remains. Any degradation of the proton beam pulse width beyond 100 ns would have serious consequences for all muon users in terms of time resolution and, for example, make the muon source less and less attractive compared to the ISIS-RAL source. Since this was raised as a flag by the accelerator team, it is important to study the space charge effect causing this degradation and to mitigate it during the commissioning period. In particular, an understanding of the relationship between pulse width and charge should be undertaken as soon as feasible to give a benchmark for the level of compromise that could be afforded.

The Committee reviewed some of the Letters of Intent which were received last year but not presented and received an update on the core projects that would contribute to enhancing the bare initial complement of muon channels. The initial program will make use of the refurbished decay channel from KEK. The plans for developing the facilities as part of phase II have been slightly changed from the original concept six years ago to take advantage of the recent development of ultra-slow muon beams and to account for the ever increasing demand for surface muon beam of high brightness. More concrete ideas were presented to develop unique capabilities at J-PARC in terms of ultra-slow muon beams or pencil-beams, which would open very important scientific fields in surface or interface physics, molecular and biophysics, etc. The Committee considers that these initiatives should be at the highest priority in the foreseen development of the facility so that the J-PARC muon facilities can be positioned to offer the Japanese and the world communities with unique instruments.

With the start of operation envisaged for FY2007, it is important that an operational budget be made available consistent with the expectations of both muon and neutron users for beginning users beam delivery in 2008.

Introduction :

MuSAC met at the KEK laboratory for three days on January 11, 12 and 13, 2007. The MuSAC membership and the meeting's agenda are given in Appendix A and Appendix B, respectively.

Presentations were heard on the progress of the J-PARC accelerators construction and the specific facilities related to the muon program. The Committee heard from spokespersons for Letters of Intent which could not be reviewed during MuSAC#4 and received updates on proposed core facilities. The Committee was given presentations on the preparation for the commissioning and initial operational phase, on the implementation of the user organization and on the management of the user program in the context of the J-PARC centre. Clearly the focus is shifting to the turn-on of the user program in 2008.

Accelerator Progress :

The Committee heard a presentation by Y. Yamazaki on the accelerators and the commissioning plans. Good progress is being made and the injector LINAC has been commissioned to 50 MeV without any difficulty. Following this initial achievement, the full 181 MeV energy was reached on January 24, 2007. The accelerator team should be congratulated for this significant milestone.

Progress is being made in getting RF cavities, built with the Finemet magnetic alloy, to operate at high gradient without breakdown. The RF cavities for the 3 GeV ring have passed a 1000-hour test at full power and commissioning of the RCS will start in mid 2007 with first beam expected on the muon target by September 2008. The issue of the proton beam pulse width, which would be as large as 140 ns in order to optimize the proton intensity to the neutron target, is still present. The scaling law dictates that the beam current is proportional to the beam pulse length. Reducing this pulse width to sub 100ns could lead to severe neutron flux reduction due to space charge limitations in the most pessimistic scenario.

To achieve a pulse length of an order of 100 ns or less at the extraction, one has to explore the tuning parameter space and go beyond the current limit estimated from the scaling law. Although the initial tuning of the RCS should focus on maximizing its performance in term of intensity, the accelerator team should try to maximize the beam current under the restriction on the beam pulse length and provide a compromise that could satisfy both muon and neutron users . The accelerator team is encouraged to do the beam study for this purpose as soon as possible in the commissioning plan.

MUSE Facilities Progress :

The installation of the components has started. The muon target vessel and some the proton beamline magnets have been positioned while the side access to the tunnel was still in place in June 2006. It was then discovered that during the summer the lack of ventilation created a condensation problem which affected some of the components. Hopefully this was limited with temporary humidity control. Most of the beamline components are under construction and should be installed on schedule. From now on, crane access will have to be tightly scheduled and radiation control will start in September 2007 complicating access. In any scenario, it is most important to install as much of the front-end components of the secondary channel in the tunnel prior to beam operation.

The Committee heard a presentation by Kawamura-san summarizing the issues related to beam losses. They range from shielding requirements, radiation damage to components in the M2 tunnel, muon target lifetime, optimization of flux and beam profile for both the muon and neutron targets. The radiation exposure of the magnets downstream of the muon production target is very sensitive to the assumed beam profile at the muon target. Although a safety factor of 2 is built into the current design, it will be very crucial to validate the simulations conducted so far in the early stages of beamline commissioning with protons. It is envisaged that additional shielding will be required when going over 100 Kw of beam power.

The settlement of the MLF building is continuing, and uneven sinking may force some re-alignment of already installed components to meet the constraints of alignment for both the proton beamline and the secondary channels. This was anticipated and should not cause major problems.

The Committee was satisfied that muon production targets that will last more than half a year can be built for the first stage of operation (2 years)

The vacuum system is well advanced and good testing of the pillow seals have been made. Maintenance schemes have been also evaluated.

The cabling of the magnets and associated beam components is on the critical path, and the schedule for installation is very tight.

The control system is developed in conjunction with the MLF one and will present a uniform user interface to the operators.

The first secondary channel will be based upon the refurbished superconducting solenoid from KEK. Funding has been allocated to do the refurbishing, and it appears that the lifetime of the device can be extended without any doubt. Because it is buried into the tunnel shielding, it is very critical to have it installed before closing the tunnel for beam commissioning.

Overall, the team is making very good progress under trying conditions. It doesn't appear that the work packages for the muon facility will be on the critical path for commissioning the 3 GeV MLF facility.

As the attention of the team shifts to commissioning, an adequate operating budget must be provided. The Committee, however, didn't get a good grasp of the partitioning of the proposed operation budget: for example, how a budget for power, cooling, and air conditioning could be split up to a sub group in the overall beam transport system. This raises the issue of operational responsibilities in general which for efficiency sake, should perhaps not be divided in the same way as was during the construction.

A new DAQ system is being developed to accommodate the very high event rates expected at MUSE. It is built around customized chips to use Ethernet communication protocols. New state-of-the-art TDC's are also being tested and high density photo sensors are being considered. In a test run at RIKEN-RAL, 2 to 3K events per spill were collected as a demonstration of the rate capability of the system. Further improvement in the pulse pair resolution of the discriminator/TDC allows for a linear response even at a short time after the muon pulse.

Recommendations :

- Work with the accelerator commissioning team to identify a compromise that would satisfy the proton beam pulse requirement of <100 nsec while keeping an optimum flux for neutron users.
- Keep a tight control of the installation schedule, with an eye on alignment issues due to settlement of the MLF building.
- Establish a commissioning plan for the proton beam transport system under the responsibility of the muon team but integrate it into the overall master commissioning plan for the MLF as a whole.
- Validate the radiation environment simulation.
 - Must keep focused to meet the schedule for beam commissioning in September 2008.
 - Must have an initial muon decay channel ready at turn on.
 - Must work with the accelerator group to minimize proton pulse width.

Initial Operation budget :

With commissioning scheduled to start in 2007, it is important to consider the operation requirements in the next fiscal year. The technical responsibilities for the operation phase are being defined. There is a strong overlap with the MLF operation and with more generic operation of the accelerator complex.

The initial split of cost and manpower is reasonable as far as the maintenance and operation of the components produced by the MUSE team is concerned. It takes into account an effective cooperation with the MLF personnel and integration of support services that are common (magnets, power supplies, vacuum, controls, remote handling, etc.). What is more difficult to assess is the cost sharing arrangement for utilities (electricity costs, air conditioning, environment monitoring, etc.), which are linked to the more generic operation of the site as a whole. A careful look at the organization during the operation phase should be undertaken to redefine the responsibilities more efficiently and to minimize the manpower overlap (especially for experts) across the facilities.

User Support and User Interactions with J-PARC User center :

The Committee heard a presentation on the user interface with the J-PARC management and its proposed J-PARC Center. The Committee agrees that a unified PAC for all MLF users is appropriate. A single uniform process is envisaged for submission and evaluation of proposals. The Committee also supports the request that beam time fees at J-PARC be waived for non proprietary research and core users who have signed an agreement with J-PARC regarding usage of core facilities provided by them. This is the current practice at most international facilities with similar user programs.

The Committee was pleased to hear that new users support programs (like the data acquisition framework) were being developed for both muons and neutron users, creating a unified approach for material science support at the MLF.

The Committee was very pleased by the major announcement of the formation of the J-PARC Center, which will go a long way towards establishing the identity of the project and provide a strong user support infrastructure.

Phase 2 Facilities for Muon Users :

In Phase 1 of the four muon beamlines anticipated from the first muon target, only one will be available at the start of beam operation in the MLF. It will consist of the refurbished superconducting muon channel from KEK which will be used both as a decay and a surface muon channel. The JAEA-ASRC funded core facility could be added to this channel initially. Of the three other channels, one is for a high intensity surface muon beam with a DAI-Omega type of facility, one is for a multipurpose surface muon beam and the fourth one would be for a high momentum muon channel. MuSAC considered which sequence of channels would be most advantageous for J-PARC muon science and concluded that the high flux surface muon injector to an ultra-slow muon facility based upon the KEK and RIKEN-RAL laser technology should have the highest priority in phase two. Here, it would be critical to have the front-end capture solenoids built and installed before high proton beam running. The next priority would be to start establishing the surface muon complex, and here again, the critical elements are the two quadrupoles which must be installed in the proton tunnel. The Committee agrees that after this installation, the rest of the facility should be in Phase 2, with some or most of the elements provided via a core project contributions (for example, the Toyota beamline could be added there).

Why are Ultra-Slow Muons So Critical for J-PARC :

The ultra-slow energy muon channel is planned to be one of the early Phase 2 developments at MUSE/J-PARC. It will have an extremely high acceptance to produce simultaneous high-luminosity μ^+ and μ^- beams for a variety of applications. The radiation hardened components near the production target should be installed before significant proton beam is admitted to the proton beam line. The design work for the rest of the channel is well underway, and the entire project can be operational within the next three years if adequate funding is provided. One highly anticipated use of this channel is for an ultra-low-energy μ^+ beam for the study of thin films, nanostructures and near surface physics phenomena. A good example of the latter was presented to the Committee by Prof. Nishida, who advocated studies of unconventional superconductors using near surface muons in materials with different crystalline orientations to determine the symmetry of the superconducting order parameter.

Currently, the only muon beam available for these uses is the LEM facility at PSI, and this is the most oversubscribed muon channel in the world. Thus, the low-energy beams at J-PARC, planned to be more intense than those at PSI, should be a flagship facility for MUSE. The MuSAC strongly endorses adequate funding for the timely completion of this most important beam at J-PARC/MUSE.

Evaluation of Letters of Intent (LoI) :

As of January 31, 2006, twenty-four Letters of Intent had been received by the J-PARC Director's office. Some were reviewed during last year's MuSAC meeting. This year, the Committee heard from the remaining ones and got updates from some of the user core projects.

LoI #2. W. Higemoto and R.H. Heffner, "Microscopic study of 4f- and 5f-electron systems by means of muon spin rotation, relaxation and resonance methods"

The JAEA-ASRC group presented an update on their program and their proposal to contribute part of the surface muon channel to be installed initially on the "KEK" decay/surface channel but which could be moved later on the dedicated surface muon line.

Their scientific objective is to study rare earth and actinide compounds by μ SR. These compounds contain 4f or 5f electrons with localized and itinerant character and exhibit novel and exotic properties as highly correlated electron systems. Several examples of μ SR studies performed by the JAEA-ASRC group were presented. The contribution of JAEA group to this actively studied area is highly evaluated: recent findings of the ordered state of $\text{SmRu}_4\text{P}_{12}$ and the T-inversion broken superconducting state in $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ are good examples.

The proposal is considered to be very promising, and the JAEA group is encouraged to construct the beam channel and μ SR spectrometer as a core project to MUSE.

LoI #6. A. Koda, " μ SR experiment under high pressure"

The control of the electronic and magnetic properties of materials through pressure has come to the forefront of materials research because it allows change of the properties of the materials without any change in their chemical composition. The price to pay is that the samples are small and the background from the apparatus is huge. This group is conducting pioneering work at RIKEN-RAL and at TRIUMF. New pressure cells, optimized for the μ SR work are being investigated with a goal to reach 1.2 GPa pressure while allowing 120 MeV/c muons into the sample. The main challenge, however, remains the double pulse structure of the beam at J-PARC which will require the development of a fast kicker magnet to remove the second beam pulse.

The scientific motivation is very strong, and technical support should be provided to develop the kicker system.

LoI #8 (1) M. Kenya Kubo *et al.*, “Chemical analysis with negative muon”

This proposal could have a good impact on the muon science program of J-PARC both in scientific terms and in media interests. On the scientific side one should take into account that the samples contain chemical compounds for which deviation from “z-law” of the muon capture probabilities by elements must be taken into consideration. The program should be driven through cooperation with historians, and archeologists, etc. to identify where a major impact can be made in those disciplines. The potential is there for a large public interest in the achievements in this field as a nice application of pure science.

LoI #10 Matsuzaki *et al.*, “Advanced muon catalyzed fusion research at J-PARC Muon Facility”

The muon catalyzed fusion (μ CF) phenomenon is the result of the tiny interplay of nuclear, molecular and meso-molecular interactions. It has been extensively studied in the previous two decades, but several important points are yet to be clarified. One of these problems – μ CF at the extreme conditions of low-temperature and high density – was not explored and there are no well-established predictions from theories. The proposed experiment is quite ambitious, but it will give unique new information in this field which is complementary to the experiments planned at JINR (Dubna, Russia) where the same reaction will be studied at high temperature and gas pressure. This experiment will have to develop new methods of tritium handling which could also be also of interest in connection with the ITER project. Hence, the scientific impacts of μ CF physics might go beyond the declared goal of the proposed experiment “to achieve the break-even of μ CF.” This proposal is a good match to J-PARC muon science.

LoI #15 N. Nishida, “Studies of superconductivity and magnetism at surface and interface by using ultra-slow muons”

This is a proposal to combine state-of-the-art surface studies with scanning tunneling microscopy and sub surface scanning via ultra-slow muons. The aim is to identify the orbital symmetry (s, p, d) of the cooper pair by measuring the resultant superconductivity at the surface of a carefully aligned superconducting crystal. The group has developed considerable expertise in surface studies, and the proposed new techniques will provide unambiguous determination of the pairing symmetry. This has been a very contentious issue so far, and the combination of sub-surface studies of the superconductivity in the sample and the interference effects at the surface, will bring a unique approach to the problem. The development of an intense ultra-slow muon source at J-PARC is required for this program, as well as an ultra-high vacuum environment to maintain pristine surface conditions. The group is bringing expertise in new material growing techniques, surface characterization and μ SR technologies. The Committee strongly encourages the development of this program at J-PARC.

LoI #20 A. Shinohara *et al.*, “Study of chemical properties of muonic atoms”

The scientific potential of the “traced atom” method for the study of chemical reactions is rather high. Radioactive isotopes are widely used for such a study, but atoms traced by muons give the opportunity to measure the absolute rates of chemical reactions. However, this program will not be completed successfully without the proper theoretical analysis of the differences between real atom and its muon-traced analog (c.g. $\text{Ar}^+\mu^-$ and Cl), because the tiny differences in electron shells of such pairs can bring in the essential differences to their chemical properties. The program of studying the electronic rearrangement of the atom after muon capture by this atom, and the mechanism of refilling of electronic shell of the atom after cascade Auger-transition of the captured muon are not so clear, and the method of achieving this goal is not yet properly described.

LoI #22 J. Sugiyama, “ μ SR experiments on materials potentially applicable for automobiles”

This LoI was considered at the previous meeting and Dr. Sugiyama’s presentation replied to the MuSAC#4 comments, which requested a report on the funding plan and on the manpower adequacy to maintain the proposed program. He also updated the Committee on the current and proposed research activities of the group regarding 1) Thermoelectrics: 2) Proton conducting materials, 3) Li battery materials, and 4) Hydrogen storage materials. These are still very important and worthy to be promoted.

On the funding plan for the instrumentation, MuSAC appreciates the Toyota CRDL for their positive action to submit a three-year budget proposal of 5 Oku yen in 2007. Although he is actively working on this and the process seems reasonable, Dr. Sugiyama indicated that a collaboration with partners would be the most critical factor in strengthening his proposal. MuSAC strongly encourages him to work on that and asks that the Japanese Muon Society indicate its support for this proposal. TOYOTA’s involvement at J-PARC will play an important role in promoting it to other potential users.

Regarding the manpower situation, this well-coordinated project team is currently conducting muon research at several foreign laboratories. To accomplish this research plan at J-PARC in the future, about 7 weeks of dedicated beam time would be required annually. This allocation would be reasonable for the instrument owner to handle. The beam time fraction shall be determined in light of the J-PARC policy, and MuSAC recommends starting negotiations with J-PARC Center staff as soon as possible. The conditions for receiving dedicated beam time were outlined by Professor Nishiyama. It is highly advisable that J-PARC fix the rules for the instrumentation access by any third party with a dedicated beam time allocation and a procedure for open user access as soon as possible.

LoI #24 I. Watanabe, “1 GHz RF and ultrasonic wave applied μ SR studies in high fields”

This proposal is to construct two new apparatus for μ SR experiments; muon spin resonance apparatus in 7 T and μ SR apparatus under ultrasonic wave. Development of muon spin resonance apparatus in high magnetic fields is important, but more detailed feasibility studies are necessary, such as heating of the sample due to RF. One bottleneck for the 1 GHz RF μ SR studies in high fields is that the RF power source and the probe are very expensive. However, the J-PARC accelerator is to use the 972 MHz RF system for accelerating the beam from 200 MeV to 400 MeV in the linac. Also, the linear collider will use a frequency of 1.3 GHz. If one chooses either frequency, one can take advantage of the use of spare RF systems from the accelerators. It is recommended that detailed discussions should start with the accelerator people regarding the feasibility of the system. In particular, one of the most important issues will be how to keep the low temperature of the specimen under the high RF field loading. In ultrasonic μ SR experiments, comparisons with conventional ultrasonic measurements should be made.

Conclusions :

Enormous progress has been made on the facility development and installation. With the initial beam commissioning a year and half away, most of the contract purchases have been committed. Installation tasks are very demanding and could use more manpower. At this moment, the focus must be kept on installation to meet the schedule, but attention must be paid to the commissioning requirements to bring the facility to the operational stage.

Operation funding is required in FY2007 to commission most systems and prepare for beam injection in FY2008. Some rationalization of the operational responsibilities and budget is required at the J-PARC level.

The Committee was impressed by the initial response to the call for Letters of Intent. At the last MuSAC meeting, an initial evaluation was made and several letters were identified for further expansion into full-fledged proposals. This exercise served well its purpose of identifying an eager muon user community and its demands on the facilities being constructed. This time the Committee heard from the LoI's which had not been presented yet and got updates on user core facilities developments.

The Committee considered which scenario for development of muon channels would provide the best opportunities for Japanese muon users and concluded that after the general purpose surface/decay channel based on the refurbished KEK superconducting solenoid, the most attractive proposition would be to develop the world's best ultra-slow muon facility based upon the KEK and RIKEN-RAL laser technology and the high acceptance super omega channel concept. It is hence critical that the front-end injection solenoidal magnets be available for installation in the tunnel at the time of first proton injection into the muon target.

Appendices

Appendix A :

MuSAC #5 Committee Membership

- J. Akimitsu (Aoyama Gakuin U), excused
- Y. Hayano (JAEA-ASRC), excused
- R. Heffner (JAEA-ASRC)
- S. Ikeda (KEK-IMMS)
- Y. Ikeda (JAEA- MLF)
- M. Iwasaki (Riken)
- Y. Miyake (KEK), MuSAC Secretary
- N. Nishida (Tokyo Ins. Tech and Users group chair)
- K. Nishiyama (KEK-MSL)
- C. Petitjean (PSI) excused
- J.-M. Poutissou (TRIUMF), MuSAC Chairman
- L. Ponomarev (Kurchatov Institut)
- Y. Yamazaki (J-PARC, Vice Director)

Appendix B :

MuSAC #5 Agenda

*January 11 (Thu), 12 (Fri), 13 (Sat), 2007
Meeting Room 1 on 2F of Bldg 4 in KEK*

January 11th, 2007 (Thursday) 9:50 – 17:00

Greeting (9:50 – 10:00)

Greeting from KEK IMSS Director (5)

O. Shimomura

Greeting from J-PARC Project Director (5)

S. Nagamiya

1. J-PARC Project Overview (10:00 – 12:00)

Overview of J-PARC (20)

S. Nagamiya

Overview of Accelerator (20)

Y. Yamazaki

Overview of MLF (30)

Y. Ikeda

Overview of MLF Muon Science Facility (30)

Y. Miyake

----- Lunch (12:00 – 13:30) -----

2. Report from Muon Science Construction Team (13:30 – 17:00)

Magnets in M2 tunnel (Magnets, Water, Radiation) (40)

N. Kawamura

Alignment and Shield (Guides, Concrete Shields) (40)

P. Strasser

Muon Target (Chamber, CASK, Maintenance) (30)

S. Makimura

----- Coffee break (14:50 – 15:10) -----

Vacuum (Pillow seal, GV. Profile Monitor) (20)

A. Koda

Cabling (Power Supply, Cable, Cabling) (20)

H. Fujimori

Control (Target, Air Circulation, PPS, MPS) (20)

W. Higemoto

Superconducting Solenoid (20)

K. Shimomura

January 12th, 2007 (Friday) 9:00 – 17:00

3. Developments for J-PARC Muon Science (9:00 – 9:50)

Development of DAQ for J-PARC (20)

R. Kadono

Design Works for Super Omega Line (20)

K. Nakahara

4. LoI Presentations (10:00 – 12:00)

Advanced Muon Catalyzed Fusion Research
at J-PARC Muon Facility (20) T. Matsuzaki
Chemical Analysis with Negative Muon (20) K. Kubo

----- Coffee break (10:50 – 11:00) -----

Study of Chemical Properties of Muonic Atoms (20) A. Shinohara
1 GHz RF and Ultrasonic Wave
Applied μ SR Studies in High Fields (20) I. Watanabe

----- Lunch (1150 – 13:00) -----

LoI Presentations (13:00 – 13:50)

Studies of Superconductivity and Magnetism at Surface and Interface
by using Ultra-Slow Muons (20) N. Nishida
 μ SR Experiment under High Pressure (20) A. Koda

----- Coffee break (13:50 – 14:00) -----

5. Phase 1 Experiments and Towards Phase 2 (14:00 – 15:30)

1) A Possible Scenario towards Phase 2
from the Point of Construction Team (30) K. Nishiyama
2) JAEA-ASRC-Project (30) R.H. Heffner/W. Higemoto
3) Toyota –Project (30) J. Sugiyama

6. Operations (15:40 – 16:10)

Reviews on the Operations of MUSE (20) K. Nishiyama
Users Committee (15) N. Nishida

7. Closed Session (16:10 – 17:00)

----- Reception (18:00 – 20:00) -----

January 13th, 2007 (Saturday) 9:00 – 12:00

8. Closed Session (9:00 – 12:00)

9. Summary Talk

----- Lunch -----

10. J-PARC Tour (13:00 – 17:00)

Appendix C :

List of Letters of Intent Received

Name	Title
Fleming, D.G.	Studies of Muonium Reactivity with Pulsed Laser Systems
Higemoto, W. Heffner, R.H.	Microscopic Study of 4f- and 5f-electron systems by means of muon spin rotation, relaxation and resonance methods
Ishida, K	Precision Measurement of Key Processes in Muon Catalyzed Fusion
Kadono, R.	High precision local field mapping by μ SR spectrometer of the 3rd generation
Kawamura, N.	μ CF ~resonant formation study
Koda, A.	μ SR experiment under high pressure
Koike, Y.	μ SR study of the mechanism of superconductivity in high- T_c cuprates
Kubo, M.K.	Chemical Analysis with Negative Muon
Matsuda, Y.	Study of magnetism of thin films and multilayered system using low-energy muon beam generated by laser resonant ionization method
Matsuzaki, T	Advanced muon catalyzed fusion research at J-PARC Muon Facility
Miyake, Y Shimomura, K	Super Omega Beam Channel collecting muons with a large solid angle for the Ultra Slow Muon and intense negative muon source
Nagamine, K. (1)	Advanced Life-Science-Related Molecular-Imaging Research with Intense Pencil-Muon Beam
Nagamine, K. (2)	Advanced Materials Science Research with Intense Muon Pencil-Beam
Nagamine, K. (3)	Advanced Studies on Materials Surfaces by Scattering and μ SR of sub-ns Ultra Slow Positive Muons
Nishida, N	Studies of Superconductivity and magnetism at surface and interface by using Ultra-slow Muons
Ohira, S.	μ SR study on organic conductors under pressure
Shimomura, K. (1)	Construction of the superconducting muon channel
Shimomura, K. (2)	Construction of the surface muon channel
Shimomura, K. (3)	μ SR studies under laser illumination
Shinohara, A.	Study of Chemical Properties of Muonic Atoms
Strasser, P	Radioactive Muonic Atoms Study at J-PARC
Sugiyama, J.	μ SR experiments on materials potentially applicable for automobiles in situ measurement
Tanaka, H.	Study of a high-temperature electrical conduction mechanism in the lower mantle phase with muon spin probes
Watanabe, I.	1 GHz RF and Ultrasonic Wave Applied μ SR Studies in High Fields

第 5 回 J-PARC ミュオン科学実験検討委員会報告書
高エネルギー加速器研究機構
ミュオン科学研究施設
2007 年 1 月 11 ～ 13 日

J.M. Poutissou 委員長より J-PARC 長へ提出

2007 年 3 月 31 日

目 次

要約

序文

加速器の進捗状況

MUSE 施設進展状況

勧告

初期運転経費

利用者支援と J-PARC ユーザーセンターとユーザーとの関わりについて

二期計画 ミュオンユーザーのための施設

何故、超低速ミュオンが J-PARC にとってかくも重要か？

LoI（実験提案）の評価

結論

要約：

ミュオン科学実験検討委員会は1月11日～13日 KEK で開催され、J-PARC ミュオン施設 (MUSE) の建設状況を総括し、以前提出された24の実験提案のうち MuSAC4 で発表されなかったものについて評価し、運転開始に向けた組織の構築と二期計画における施設の拡充計画について検討した。

J-PARC 施設全体の進展状況は加速器群の予定したスケジュールに沿っており、入射器の LINAC が無事 50 MeV 加速に成功したというニュースおめでとう。これは優れた加速器が注意深く建設されたことを示している。高周波空洞の問題は解決されつつあり、1000 時間の高出力運転試験に合格しはじめている

MUSE の技術面については、予算の 70 % 以上の契約がすみ、機器の設置が予定通り進行しており、検収試験と運転に向けての準備が進んでいる。建設チームは少ない予算の中で期日に合うよう頑張っている。

前回の委員会で明らかになった 100 ns のビーム幅の要求が、中性子利用者の要求する最大ビームパワーと著しく矛盾するかもしれないという恐れはまだ解決されていない。陽子ビームパルスが 100 ns 以上に長くなると時間分解能が落ちるため、ミュオン利用者にとっては深刻な問題となり、ミュオン施設は ISIS-RAL の施設等と比べて魅力無いものになってしまう。加速器チームから提起された問題であるので、原因である空間電荷効果を研究し、試験運転中に解決法を見出すことが肝要である。特にビーム幅と電荷の関係を早く解明し、妥協点を探るための基準を得る必要がある。

委員会は、昨年提出されたがヒヤリングを受けなかった LoI についてレビューし、また初期のミュオンチャンネルの増強に役立つであろうコア計画の現状を聞いた。最初の計画では、KEK の崩壊チャンネルを改造して用いる予定だった。二期計画の一部としてミュオン施設を拡充する案は、超低速ミュオンの最近の開発の進展と高輝度の表面ミュオンの需要の高まりを受けて6年前の構想とは幾分変更されている。J-PARC で超低速ミュオンビーム、細線ビームを得る具体的な提案がされた。この超低速ビームは表面や界面、さらには分子や生物物理等にも応用出来る。委員会はこの提案が最も優先度が高く、J-PARC ミュオン施設の独特の装置として日本のみならず世界の利用者に提供出来るようになると思う。

19 年度内の運転開始を考え、ミュオン利用者、中性子利用者の期待に添って 20 年度に利用者にビームが供給されるためには十分な運転予算が必要である。

序文：

MuSAC は 1 月 11 日から 13 日迄の三日間 KEK で開催された。委員構成と議事を付録 A、付録 B に載せる。

J-PARC 加速器の進展およびミュオン施設に関連した施設の発表が行われた。第 4 回 MuSAC で発表されなかった LoI について発表を聞き、また現在の中心計画について聞いた。試験運転や初期運転時の準備、利用者組織の改編、J-PARC センター内での利用の運営についても聞いた。明らかに 20 年の利用開始に向けての議論が中心となりつつある。

加速器の進捗状況：

山崎良成氏の発表は加速器および試験運転計画についてである。入射器の LINAC は順調に進行し、問題なく 50 MeV を達成した。さらに予定の 200 MeV が 1 月 24 日に達成された。このマイルストーン達成した加速器チームを祝福する。

高電場で損傷なしに稼働するファインメット（磁性合金）を用いた高周波空洞作製に新たに成功した。3 GeV リングの高周波空洞は最大出力での 1000 時間試験を合格し、RCS の試験運転は 19 年中に開始し、ミュオン標的への陽子ビームは 20 年 9 月が予定されている。中性子標的での強度を最大にするためにパルス幅が 140 ns にもなる問題点はまだ解決されていない。単純にはパルスあたりビーム電流はパルス幅と比例すると予測される。最も悲観的な場合には、パルス幅を 100 ns 以下にした場合、空間電荷効果により中性子フラックスが著しく減少する可能性がある。

取り出し時のビームパルスを 100 ns 程度もしくはそれ以下にするためには調整パラメーターの可変域を探り、比例関係以上の電流を得なければならない。RCS の初期調整においては強度を上げることに専念しなければならないが、ビーム幅を制限した上での電流の最大化をはかり、ミュオン利用者と中性子利用者を満足させる妥協点を与えなければならない。加速器チームには試験運転計画の可能な限り早期にビームスタディをするように勧める。

MUSE 施設進展状況：

機器設置が開始された。トンネルへの仮開口部が開いている6月6日以前にミュオン標的チェンバーと陽子ビームライン電磁石の一部が搬入設置された。空調がないため梅雨時期の結露が著しく、機器の損傷が心配された。仮設の除湿によって被害の拡大が食い止められた。大部分のビームライン機器は製作中であり、計画通り設置の予定である。今後はクレーンの使用が込み合っており、さらに19年9月から始まる放射線管理区域への入域が面倒になる。いかなる場合でも、ビームが出る迄にトンネル内の二次チャネルの標的に面した機器を出来るだけ多く設置することが肝心である。

委員会は河村氏のビームロスに関する要約の発表を聞いた。この発表は必要な遮蔽条件や、M2トンネル内機器の放射線損傷、ミュオン標的の寿命、ミュオン標的および中性子源のビーム束とビームプロファイルの最適化に迄及んでいる。ミュオン標的下流の電磁石の放射線暴露はミュオン標的におけるビームプロファイルによって大きく影響を受ける。現在の設計は安全係数2で行われているが、今迄のシミュレーションを陽子ビームのビームライン試験運転の初期に確認することが肝要である。100 Kw以上にビーム強度が上がった場合に追加遮蔽が必要になると予測される。

MLF 建屋の沈降は継続しており、不等沈下によって既に設置した陽子ビームラインや二次チャネルの機器の位置の再調整が必要になるかもしれない。これは想定内であり大きな問題とはならない。

ミュオンの標的が少なくとも最初の運転期間（2年間）に半年以上持つことに満足している。真空系は進捗しており、ピローシールの試験は良好であった。保守のやり方は考えられている。磁石やビーム機器へのケーブル配線は瀬戸際にあり、設置工程は非常に厳しい。

制御系はMLF制御と一体的に開発され、利用者にとってオペレーターとの統一的な接点となる。

最初の二次チャネルはKEKから改造移設された超伝導ソレノイドを基礎にしたものとなる。改造の予算は認められており、機器の寿命には問題がなくさらに使用可能である。これはトンネル遮蔽の中に挿入されるため、試験運転のためにトンネルが閉じる前に設置されなければならない。

困難な条件下で建設チームは順調に推進している。ミュオン施設の仕事が3 GeV MLF施設の試験運転の妨げになることは無さそうである。

建設チームの重心が試験運転に移って行く場合、適切な運転費が与えられなければならない。委員会は提案された運転経費の分割について十分に理解出来なかった。例として電気、冷却水や空調に要する費用をビーム輸送系全体の中でどのように分割するのか？ この問題は運転にどこが責任を持つかということであるが、一般的には効率よくするためには建設の分担とは別の分割の仕方をすべきであろう。

MUSE で予想される高いデータ量に対応したデータ収集系が開発されている。イーサネットプロトコルを用いた専用チップを用いる。最先端の TDC がテストされ、高密度光検出器を考慮中である。開発システムの高レート化を示すものとして、理研 RAL においてスピルあたり 2～3 K のデータ量が得られている。さらにパルス弁別器／TDC のパルス分解時間を短縮することによって、ミュオンパルス直後においても線形性が確保されるようになる。

勧告：

- ・ 加速器の試験運転チームと協力してビームパルス幅を 100 ns 以下に保ちかつ中性子利用者に最適な中性子束を保つための妥協案を確定すること。
- ・ MLF 建屋の沈下による位置調整を考慮に入れながらも、設置工程を厳しく守ること。
- ・ ミュオンチームの責任の下でビーム輸送の試験運転計画を確立すること。ただし全体として MLF 試験運転計画と統合して行うこと。
- ・ 放射線環境のシミュレーションの評価を行うこと。
 - 20 年 9 月のビーム試験運転計画に間に合うよう努力すること。
 - 最初の崩壊ミュオンチャンネルを始動時に間に合わせること。
 - 陽子パルス幅を最小にするため加速器グループと協力すること。

初期運転経費：

19 年にコミショニング開始する計画だと、翌年度の運転要件を考えておくことが重要となる。運転時期にはいったときの技術的責任の所在が明らかにされた。MLF 施設の運転と、そして加速器複合体の運転とも多いに重なりあっている。

MUSE チームによって製作された機器に関しての保守と運転に関する限り、費用と人力を MUSE チームに割り当てるのは自然である。MLF の人員との有効な共同作業と共通している支援業務の統合（磁石、電源、真空制御、遠隔操作等）を考慮に入れるべきである。費用分担の取り決めに評価するのが困難なのは、全体の運転に関わる施設設備、例えば電気代、空調、監視に関する事柄である。運転時期に入ったところで組織を注意深く調査し責任分担を見直して、効率を上げ施設全体での人員（とりわけ、専門家）の多重化を最小にしなければならない。

利用者支援と J-PARC ユーザーセンターとユーザーとの関わりについて：

J-PARC 執行部とユーザーとの接点について、また J-PARC センターについての提案を聞いた。委員会は MLF の全利用者にとって一つの統合された課題審査委員会が適切であるとの意見に同意する。また委員会は非営利研究およびコアユーザーが、J-PARC と協定を結んで建設した装置に関してビーム料金を免除するとの主張を支持する。ほとんど全ての国際的な施設において行われている利用のやり方である。

委員会はデータ処理に見られるような中性子利用者とミュオン利用者に共通のユーザー支援計画があり、MLF の物質科学支援が統一的に勧められることに満足している。

また委員会は J-PARC センターの設立が、計画の同一性を確立し、利用者支援の基盤確立へ向けて一歩を踏み出したものとして歓迎する。

二期計画 ミュオンユーザーのための施設：

第 1 期には、ミュオン第一標的から予定されている 4 本のビームラインのうち 1 本だけが MLF のビーム運転開始時に利用出来る。KEK から改造移設された超伝導ミュオンチャンネルで構成され、崩壊ミュオンチャンネルとしても表面ミュオンチャンネルとしても用いられる。当初原子力機構先端研の装置はこのチャンネルに付け加えられる。他の 3 つのチャンネルは 1 本は大オメガタイプの強度の高い表面ミュオンチャンネルであり、他の 1 本は多目的の表面ミュオンチャンネルであり、4 番目は多分高モーメントのミュオンチャンネルになるだろう。MuSAC はどの順番にチャンネルを建設するのが J-PARC ミュオン施設にとって最良かを考慮した結果、高強度表面ミュオンを入射し KEK と理研-RAL のレーザー技術に基づいて超低速ミュオンを発生させる施設が第二期において最優先すると結論した。陽子ビームの強度が上がる前に最先頭の収集ソレノイドを製造し設置することが重要である。次に優先するのは、表面ミュオンチャンネル複合系を組み立てていくことである。ここでも重要なのは陽子トンネル内に設置しなければならない 2 組の四重極電磁石である。この設置の後にコア計画の寄与によっていくつかの機器が備え付けられる二期後期を始めることに委員会は同意する。例えばトヨタのビームラインはここに付け加えられる。

何故、超低速ミュオンが J-PARC にとってかくも重要か？：

超低速ミュオンチャンネルは J-PARC/MUSE の二期の当初に計画されている。様々な応用に用いられる正ミュオンおよび負ミュオンビームを大立体角で取り込める。ミュオン標的に面する機器は放射線に耐えるように作られ、陽子ビームラインを通過する陽子ビームが微弱なうちに設置されなければならない。ビームチャンネルの設計作業は進んでおり、十分な資金があれば3年以内に超低速ビームが得られる。期待されるこのチャンネルの利用は超低速の正ミュオンを用いた箔、ナノ構造、さらには表面近傍の物理現象である。西田教授が発表の中で提案したのがその好事例である。すなわち特異な超伝導体において、結晶方向を変え、表面近傍のミュオンを用いて秩序パラメータの対称性を決定することが出来る。

現在のところこのような目的に利用出来るミュオンビームが得られるのは PSI の LEM 施設のみであり、世界でも最も過密なミュオンチャンネルとなっている。J-PARC における超低速ミュオンビームは PSI よりも強度が上がる事が予定されており、MUSE の看板施設となるだろう。MuSAC は J-PARC/MUSE の最重要なビームラインが時機にかなって完成するよう、適切な予算措置が講ぜられることを推奨する。

LoI 実験提案の評価：

18年1月31日迄に24件の実験提案がJ-PARCディレクターオフィスに提出された。そのうちの一部は前回のMuSACで総括された。今年は残った件について発表を聞き、さらにコアプロジェクトの一部について、再提案を受けた。

LoI-2 髙本亘、R.H.Heffner

「 μ SR法による4f- および5f- 電子系の微視的研究」

先端基礎科学センターのグループは計画の再発表を行った。彼らはKEKの崩壊/表面ミュオンチャンネルに付けて当面設置し、後に専用の表面ミュオンラインに移設する計画を持っている。

科学対象としては希土類およびアクチナイド化合物を μ SR法を用いて研究することである。これらの化合物は4fまたは5f電子を含み、局所にとどまったり（ローカライズ）、動き回ったり（イチナラント）する性質を持ち、強相関電子系として新奇な性質を示す。先端基礎科学センターのグループの行った μ SR実験例が示された。この活気のある研究分野に於ける先端基礎科学センターのグループの寄与は高く評価されている。最近の発見であるSmRu₄P₁₂の秩序状態や、PrOs₄Sb₁₂の超伝導に於ける時間対称性の破れ等が良い例である。

この提案は非常に成果が期待出来るので、MUSEのコアになる計画のひとつとして先端基礎科学センターのグループはビームチャンネルと μ SR実験装置を製作するよう勧める。

LoI-6 幸田章宏

「高圧下の μ SR研究」

圧力によって電子状態や磁氣的性質を制御する方法は物質研究にとって重要となっている。何故なら化学組成を変えずに状態変化を引き起こすことを可能にするから。そのためには使える試料が小さく装置からのバックグラウンドが大きくなる。このグループはTRIUMFやRIKEN-RALで先駆的な仕事をしている。120 MeV/cのミュオンを試料中に打ち込み1.2 GPaの圧力をかけることを目指して、 μ SR実験に最適の新しい圧力セルを開発している。最も問題なのは、J-PARCの2重パルス構造であり、2個目のビームパルスを除く早いキッカーを開発しなければならない。

科学的動機は十分であるが、キッカーシステムを開発する技術支援が必要である。

LoI-8 久保健哉

「負ミュオンによる化学分析」

この提案はJ-PARCプログラムに科学的見地からも広報的興味からも良い影響がある。科学的には対象の試料がミュオン捕獲に於けるz-則からのずれを示す化合物を含んでいることを考慮しなければいけない。この計画は歴史家や考古学者等と協力して行い、最も面白い対象物は何かを見出していかなければならない。この研究分野で成功すれば純粋科学をうまく応用したという意味で大勢の興味を引きつける可能性がある。

LoI-10 松崎禎一郎

「J-PARC ミュオン施設に於けるミュオン先端的触媒核融合研究」

ミュオン触媒融合現象は原子核と、分子と、中間子分子の相互作用の狭間で生じている。過去20年間に亘って精力的に研究されてきたが重要な問題がまだ解明されてはいない。問題の一つは低温高圧と行った極端条件下の研究はなされておらず、確実な理論的予想も無い。提案されている実験は誠に野心にみちたものであり、この分野に新しい情報をもたらすであろう。ロシアのドブナにある JINR 研究所で計画されている高温高圧ガスに於ける反応と補完的である。この実験のためにはトリチウム取り扱いの新方式を開発しなければならないが、ITER 計画との関連でも共通の技術的課題である。提案にある μCF のエネルギー収支を達成すると行った目標を超える以上の科学的影響が μCF 物理にはある。この提案は J-PARC でおこなわれるミュオン科学に相応しい。

LoI-15 西田信彦

「超低速ミュオンビームを用いた表面界面の超伝導や磁性の研究」

この提案は走査型トンネル顕微鏡による先端的表面研究と超低速による表面下の深度走査を結合しようと言う提案である。目的は注意深く向きを揃えた超伝導結晶の表面での超伝導を測定することによってクーパー対の軌道対称性 (s 波、p 波、d 波) を決定することにある。当グループは随分と表面研究の経験を積んでおり、新提案にある技術によって対-対称性について一意的に決定出来るだろう。

この問題は多くの異論のあるところであり、試料の表面下での超伝導の研究と表面での干渉効果はこの問題に対する独特の研究法となる。この問題に関しては J-PARC の強力な超低速ミュオンビームが必要であり、また表面状態を正常に保つために高真空の環境が必要である。このグループは物質作製技術、表面分析技術、 μSR 法に経験がある。委員会は J-PARC に於けるこの提案を強力に進めるべきだと考える。

Lo-20 篠原厚

「ミュオン原子の化学的性質の研究」

化学反応の研究のためにトレース原子を用いる可能性はかなり高い。放射性元素は広く利用されているが、ミュオンを帯びた原子は科学反応速度の絶対測定が可能になる。しかしこの実験を完成させるためには、原子とミュオン付着原子 (例えば ミュオン付着アルゴンと塩素) の間の適切な理論的分析が必要である。電子の殻のわずかな相違が化学的性質の変化をもたらす可能性がある。ミュオンが原子に捕獲された後の電子状態の再構成の研究計画とミュオン捕獲後のオーグジュ遷移カスケードの後に原子の電子殻が再び満たされる機構はまだそれほど明らかになっておらず、この目的を達成する方法がまだ明確には記述されていない。

LoI-22 杉山純

「自動車産業に有用な物質についての μ SR 研究—実用条件での研究」

この LoI は前回の委員会で議論され、4 回 MuSAC の結論を受けて要求されていた実験計画を遂行するための資金計画と人的資源についての回答が杉山氏の発表によってもたらされた。また彼のグループの現在の研究活動と提案について改めて委員会に提示した。熱電能、プロトン電導物質、リチウム電池、並びに水素貯蔵物質である。これらの研究は重要であり、推進しなければいけない。

実験装置の資金計画に関しては MuSAC は豊田中研の 2007 年の 3 年間の 5 億円に上る資金計画を提出するすばらしい行為に賛意を表す。杉山氏は熱心に動いており、また順調に進んでいるようだが彼によると、提案を強化するには最も重要なのはパートナーとの協力関係である。MuSAC 委員会は協力を作り上げるよう後押しをし、日本中間子科学会がこの提案を支持するようお願いをする。J-PARC に豊田が関与することは重要であり、他の利用者に J-PARC 利用を促進させることになる。

人的資源に関してはこの上手に組織された計画チームは海外施設においてミュオン研究を行っている。将来 J-PARC で研究を遂行するには年間 7 週間の占有ビームタイムが要求される。装置の持ち主にとってこのビームタイム配分はうまく取り扱える量である。J-PARC の方針の基でビームタイム配分比は決定されるのですがすぐにでも J-PARC センターと交渉を始めなさい。占有ビームタイムを受け取る条件は西山教授によって概括された。J-PARC が占有ビームタイムを伴う 3 者による装置持ち込みと、一般ユーザーの利用の規則を早く決めるべきである。

LoI-24 渡辺功雄

「高磁場下の 1GHz 高周波および超音波を用いた μ SR」

この提案では 2 つの μ SR のための新しい実験装置を作製しようとする。7 テスラのミュオンスピン共鳴装置と超音波 μ SR 実験装置である。高磁場に於けるミュオンスピン共鳴の開発は重要であるが、高周波による加熱の問題等詳細に亘った予備実験が必要である。高磁場での 1 GHz の μ SR 共鳴が困難なのは高周波電源や、高周波プローブが非常に高価であることによる。しかし J-PARC 加速器ではライナックでは 200 Mev から 400 Mev に加速するのに 972 MHz の高周波システムを用いている。またリニアコライダーでは 1.3 GHz の高周波を用いる予定である。どちらかの周波数を選択すれば加速器の高周波システムの予備を利用出来る。システムの応用可能性について加速器の人々と詳細な議論を始めるべきである。特に高い高周波負荷時に試料温度を低温に保つかが重要である。超音波 μ SR 実験では従来型の超音波実験との比較が必要である。

結論：

施設の建設と設置が多いに進捗している。1年半後の初期ビーム試験運転に迫っており、大部分の購入契約がなされている。設置は大変な作業でありもっと人手が必要なほどである。現在は設置に焦点を置いてスケジュールに間に合わせなければならないが、同時に施設を運転出来るようにするための試験運転に必要な事項にも注意を怠ってはいけない。

システムの大部分を試験運転し、20年度にビームを受けられる準備をするために19年度にも運転経費が必要である。運転の責任分担と予算のある程度の合理化がJ-PARC全体のレベルが必要である。

委員会は実験意図(LoI)募集に対する反応に感心した。前回のMuSACにおいて評価がなされ、いくつかの提案は本格的な実験提案に進むべきものと位置づけられた。この試みの目的は達成された。すなわち、熱心なミュオン利用者層をとらえ、建設される施設への要求を知ることが出来た。今回は委員会はまだ発表されなかったLoIについて発表を聞き、さらにユーザー中核施設の進展の現計画を改めて認識した。

委員会はどのような順番にミュオンチャンネルを展開すれば日本のミュオン利用者にとって最善であるかを検討し、KEKの改造移設された超伝導ソレノイドを用いた汎用の表面／崩壊ミュオンチャンネルの次の最も魅力的な提案は、世界でも最良の超低速ミュオン施設を、KEKと理研RALのレーザー法と、大立体角入射のスーパーオメガチャンネルとを基に建設する提案である。ミュオン標的に陽子ビームが当たる前に先頭の入射ソレノイド磁石を設置出来るよう準備することが肝心である。