

平成25年度共同利用実施報告書(研究実績報告書)
(特定共同研究(B))

1. 課題番号または共同利用コード 2013-B-08

2. 研究課題名 (データベース化のため英訳を加えてください。)

和文：共通モジュール開発を通じたミュオグラフィ測定要素技術の体系化

英文：Systematization of muography detection techniques through modular designing

3. 研究代表者所属・氏名 田中宏幸

(地震研究所担当教員名) 田中宏幸

4. 参加者の詳細 (研究代表者を含む。必要に応じ行を追加すること)

氏名	所属・職名	参加内容
田中 宏幸	地震研究所・教授	代表者
内田 智久	高エネルギー加速器研究機構・助教	モジュール開発
中村 光廣	名古屋大学・教授	モジュール開発
Cristiano Bozza	ソレルノ大学 ・准教授	モジュール開発
Grella Giuseppe	ソレルノ大学 ・教授	モジュール開発
武多 昭道	地震研究所・助教	モジュール開発
宮本 成悟	地震研究所・助教	モジュール開発
多田 康一郎	電源開発株式会社・リーダー	モジュール検証
三宮 明	電源開発株式会社・メンバー	モジュール検証
浦 環	東京大学・教授	モジュール検証
Thornton Blair	東京大学・特任准教授	モジュール検証
金 岡秀	東京大学・特任助教	モジュール検証
西田 裕也	東京大学・特任研究員	モジュール検証
松島 潤	東京大学・准教授	モジュール検証
長縄 成実	東京大学・助教	モジュール検証
木方 建造	電力中央研究所・研究参事	モジュール検証
宮川 公雄	電力中央研究所・副センター長	モジュール検証
末永 弘	電力中央研究所・主任研究員	モジュール検証
大湊 隆雄	地震研究所・准教授	モジュール検証
小山 崇夫	地震研究所・助教	モジュール検証

Cahrles Naudet	NASA/Caltech・上級研究員	モジュール検証
Sharon Kedar	NASA/Caltech・研究員	モジュール検証
大島 弘光	北海道大学・准教授	システム検証
清水 洋	九州大学・教授	システム検証
松島 健	九州大学・准教授	システム検証
Pedro Hernandez	カナリア州政府火山研究所・上級研究員	システム検証
Gioveanni De Lellis	ナポリ大学・教授	システム検証
小園 誠史	東北大学・助教	システム検証
波多野 恭弘	地震研究所・准教授	システム検証
篠原 宏志	産業技術総合研究所・研究グループ長	システム検証
小村 健太郎	防災科学技術研究所・主任研究員	システム検証
村岡 洋文	弘前大学・教授	システム検証
井岡 聖一郎	弘前大学・准教授	システム検証
Bryman Douglas	ブリティッシュコロンビア大学・教授	システム検証
Zhiyi Liu	TRIUMF・研究員	システム検証
佐藤 徹	東京大学・教授	システム検証
山中 寿朗	岡山大学・准教授	システム検証
沖野 郷子	東京大学・准教授	システム検証
花里 利一	三重大学・教授	システム検証
荒牧 浩二	日立製作所・研究員	システム検証

5. 研究計画の概要（800 字以内でご記入ください。計画調書に記載した「研究計画」から変更がある場合、変更内容が分かるように記載してください。）

これまで、ミュオグラフィ測定におけるシステムは、各目的に特化した形で個別に高度化してきた。しかし、ミュオグラフィという共通キーワードを持つ技術が、纏まり無く、多数の開発主体によって研究開発されてきたため、新たな対象や設置環境に適応したシステムを開発する際に本来流用できるはずの既存要素技術を有効に活用できていない。今後、ミュオグラフィを用いた観測手法をより一層発展させるためには、要素技術間において、一方の長所で他方の短所を効果的に相互補完させる仕組みが不可欠である。そのため、本共同研究では（１）素粒子物理学者との連携によるミュオグラフィ測定要素技術の高度化を行う。（２）地球理工学分野の多様な研究者との研究会を通して、既存技術を構成する要素技術を階層的に整理整頓し、知識の体系化（構造化）を進め、より大規模なミュオグラフィ測定システムを構築するための要素技術の体系化を目指す。その具体的な方法は以下のとおりである。

- ① 個々の観測に応じた機能要件を検討する。
- ② 既存システムの機能を構成する要素機能と、①で検討された要件との間でマッチングを試み、両者が整合する形式に要素機能を再定義すると同時に、未開発の要素機能を定義する。
- ③ 定義された要素機能を実現する個々の要素技術を、既存・新規を問わず多種の応用分野に容易に適用できるよう、共通モジュールの形で分類すると同時に、目的に応じてモジュールを効果的に選択・結合するためのシステム設計手順を確立する。この過程においては多様な地球理工学研究者による新たな視点を複合して、使いやすいシステム開発を目指して、定期的にセミナーや勉強会を開き、お互いに意見交換をする機会を作る。先端的開発者集団と高度な知識を有したユーザーが車の両輪として、互いに支え合い、先端的研究領域としてダイナミックに発展していくのを助ける構造となることを目指す。

6. 研究成果の概要 (図を含めて1~2頁で記入してください。)

キーワード (3-5 程度) : 要素技術、モジュール、システム、ミュオグラフィ

地球観測で必要とされる個々の観測に応じた機能要件を検討し、既存システムの機能を構成する要素機能との間でマッチングを試み、未開発の要素機能を定義した結果以下の要素機能が必要であることが分かった。

- ① ミュオンデータ取得モジュールの高速化
- ② ミュオンデータ取得部の消費電力の低減

これらの要素機能は共通モジュールの形で分類すると同時に、目的に応じてモジュールを効果的に選択・結合することができると考えられたため、(A) 素粒子物理学者との連携によるモジュール開発→(B) 地球理工学者によるモジュール検証→(C) ユーザーによるモジュールを結合したシステムの検証の手順で開発を進めることとした。上記システム設計手順の過程で特定共同研究の参加者が集う国際研究集会(シンポジウム及びワークショップ)において新たな視点を複合して、使いやすいシステム開発を目指した。以下で、(A) ~ (C) における研究成果の概要を示す。

(A) モジュール開発

ミュオン検出モジュールの雑音低減については低雑音化のため、多層の検出器からのシグナルを光速に処理できるモジュール開発が必要であった。フィールドプログラマブルゲートアレイを利用した高速処理システムを開発した(図1)。従来ソフトウェアで1層ごとに処理していたため、数時間でオーバーフローしたが、本モジュールの開発により、数か月間安定して多層検出器を運用することが可能となった。

ミュオンデータ取得部の消費電力の低減については低消費電力化のため、スイッチングレギュレータの実装テストを行った。電圧の変換損失を抑えるため、既存のスイッチングレギュレータを改造し、既存の電圧入力に対して、出力電圧が安定するかテストを行った。ノイズの割合は製作電圧1.2~2.5Vの間で2~3%と小さく(図2)、ミュオンデータ取得部の更なる低消費電力化に向けた原理検証に成功した。実用化には更なる検証が必要である。

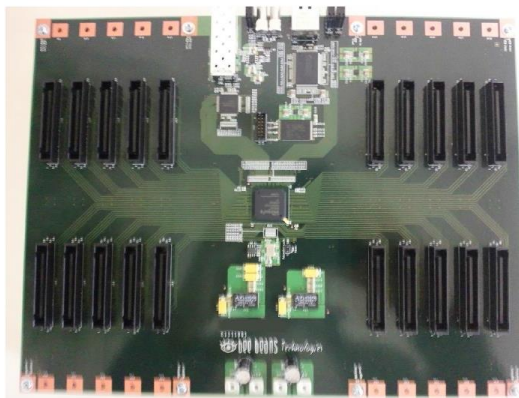


図1 開発したミュオンデータ取得モジュール

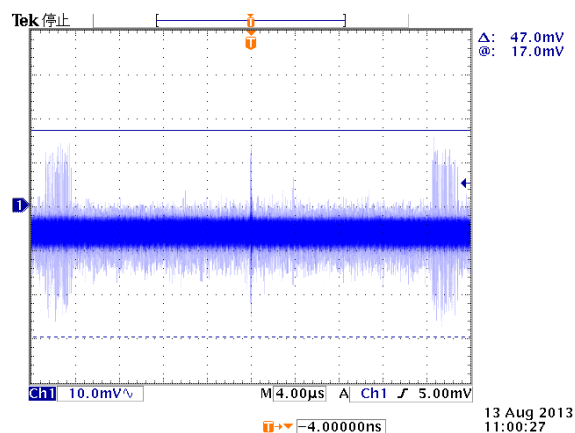


図2 出力電圧のオシロスコープ画像

(B) モジュール検証

開発が完了した①高速ミュオンデータ取得モジュールについて、多湿環境下、高粉じん環境下、不安定電圧環境下、腐食性ガス環境下など異なる使用環境でのモジュールの耐久性について、各々の環境におけ

る検証を行った。その研究成果の概要（続き）

の結果、多湿環境下ではモジュールハウジング内外に圧力差を設ける要素技術、あるいは密閉環境下で湿度を低減する要素技術の組み合わせで数か月以上安定して使用可能であることが分かった。一方、高粉じん環境下では、長期間の観測中に基板上配線間に粉じんが入り込み、短絡を起こして、回路を破損することが分かった。この問題については今後、解決する必要がある。また、発展途上国における商用電源など或る程度の不安定供給電圧でも安定して作動することが確認できた。火山内部に掘られたトンネルなど腐食性ガスが多量に発生している環境下でのモジュールの長期安定性については現在検証中である。

(C) システム検証

開発したモジュールを既存のカロリメータ検出器システムに結合した新たなミュオグラフィ観測システムの検証を、北海道有珠山及び鹿児島県薩摩硫黄島で行った。その結果、新たなモジュールを組み込んだ新型システムにおいても、火山観測を行う上で満足のいくスペック（数か月以上の連続オペレーション能力）を達成できた。

検証されたシステムを要素機能にいったん戻し、多種の対象に容易に適用できるよう、共通モジュールの形で分類することを国際シンポジウム「MNR2014」の後半セッション「ワークショップ」の中で議論した。以下にワークショップの概要を示す。

「MNR2014 Workshop Session」

日時 2013年7月26日

場所 東京都千代田区

主催 東京大学地震研究所、理学系研究科物理学専攻

概要：日本の研究機関に加えて、西カナリア州政府火山研究所、仏パスカルブーレーズ大学、伊フィレンツェ大学、ナポリ大学、ブリストル大学、NASA ジェット推進研究所などからのミュオグラフィ開発者やユーザーが集まり、各々の開発主体が開発を進めてきた要素技術を横断的に活用することが出来るよう、議論を行う。

7. 研究実績（論文タイトル、雑誌・学会・セミナー等の名称、謝辞への記載の有無）

査読付き論文

(1) H. K. M. Tanaka and I. Yokoyama, Possible application of compact electronics for multilayer muon high-speed radiography to volcanic cones, Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 2, 263-273, 2013.

<http://www.geosci-instrum-method-data-syst.net/2/263/2013/gi-2-263-2013.pdf>

(2) H. K. M. Tanaka and A. Sannomiya, Development and operation of a muon detection system under extremely high humidity environment for monitoring underground water table, Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 2, 29-34, 2013.

<http://www.geosci-instrum-method-data-syst.net/2/29/2013/gi-2-29-2013.pdf>

(3) H. K. M. Tanaka, Development of stroboscopic muography, Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 2, 41-45, 2013.

<http://www.geosci-instrum-method-data-syst.net/2/41/2013/gi-2-41-2013.pdf>

(4) S. Kedar, H. K. M. Tanaka, C. J. Naudet, C. E. Jones, J. P. Plaut, and F. H. Webb, Muon radiography for exploration of Mars geology, Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 2, 157-164, 2013.

<http://www.geosci-instrum-method-data-syst.net/2/157/2013/gi-2-157-2013.pdf>

国際研究集会

(1) Iñigo Hernández, Pedro Hernández, Nemesio Pérez, Hiroyuki Tanaka, Seygo Miyamoto, José Barrancos, Eleazar Padrón, Application of emulsion imaging system for cosmic-ray muon radiography to explore the internal structure of Teide and Cumbre Vieja volcanoes in the Canary Islands, Spain, Geophysical Research Abstracts Vol. 15, EGU2013-953, 2013.

<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/EGU2013-953.pdf>

(2) Sharon Kedar, Hiroyuki Tanaka, Charles Naudet, Plaut Jeff, Cathleen Jones, Frank Webb, Interrogating the Martian Subsurface using Muon Radiography, IAVCEI 2013 Scientific Assembly - July 20 - 24, Kagoshima, Japan.

http://www.kazan-g.sakura.ne.jp/iaxcei2013/iaxcei_hp/PDF/3W_2D-P31.pdf

国際シンポジウムの主宰

(1) MNR2013, TOKYO, JAPAN, July 25-26, 2013

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ht/MNR13/>