

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2012～2016

課題番号：24224007

研究課題名(和文) 48Caの2重ベータ崩壊の研究

研究課題名(英文) Study of double beta decay of 48Ca

研究代表者

岸本 忠史 (Tadafumi, Kishimoto)

大阪大学・核物理研究センター・教授

研究者番号：90134808

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 167,000,000円

研究成果の概要(和文)：現在の物質だけの宇宙の創成には、レプトン数の保存則の破れが必要である。それはニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊(0 DBD)で検証出来る。本研究では、CANDLESシステムで48Caの0 DBDの世界最高感度での観測を目指し、その性能向上と、将来の濃縮技術開発を進めた。ライトパイプ、地磁気補償コイル、温度制御装置等でCaF₂結晶の集光量を倍増してエネルギー分解能を向上し、遮蔽の構築でバックグラウンドの2桁低減を実現した。今までの観測を凌駕する性能を確認し、長期の観測を開始した。濃縮では、クラウン・エーテル樹脂法の開発と、電気泳動法を基礎に新しい有力な濃縮法(MCCCE)法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Creation of matter dominated universe requires violation of lepton number conservation. The violation can be verified by the observation of neutrinoless double beta decay (0nDBD). Our aim is to observe 48Ca 0nDBD with the world best sensitivity by CANDLES system for which we improved performance of the system and developed methods for the enrichment of 48Ca. We installed light pipe, cancellation coil of earth magnetic field and temperature control system which increase light output and lead to improvement of energy resolution. Construction of passive shield leads to reduction of backgrounds by two-orders-of magnitudes. We confirmed that our revised CANDLES III system has sensitivity better than of current limit for 48Ca 0nDBD. We then started long term measurement. We developed enrichment methods by crown-ether resin. A new promising method based on electrophoresis (MCCCE method) was also developed.

研究分野：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：二重ベータ崩壊 48Ca 同位体濃縮 低バックグラウンド

1. 研究開始当初の背景

我々の周囲を取り巻く環境はすべて「物質」で出来ている。一方、「物質」と対をなす「反物質」も存在することが分かっている。しかし、「反物質」は自然界にはほとんど存在していない。この現在の「物質」優勢の宇宙を説明するには、次の二つのことを証明する必要がある。一つは、「物質」と「反物質」の世界の物理法則にわずかな差があること (CP対称性の破れ)、もう一つが、「物質」と「反物質」が転換可能であること (レプトン数保存則の破れ) である。本研究の目的は、「物質」と「反物質」が転換可能であるか否かを検証するものである。

「物質」と「反物質」が転換可能であるか否かを検証するためには、二重ベータ崩壊の研究が必要である。二重ベータ崩壊のなかでも、「ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊 ($0\nu\text{DBD}$)」(図1参照)は、「物質」と「反物質」が転換可能である時のみに起こる現象である。本研究課題では、この「ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊」の研究を行う。

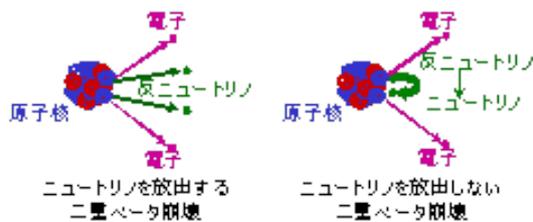


図1:「ニュートリノを放出する二重ベータ崩壊 ($0\nu\text{DBD}$; 左)」と「ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊 ($2\nu\text{DBD}$; 右)」。

2. 研究の目的

「ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊」の測定は世界各国で行われている。しかし、まだ検出されたことはない。それは $0\nu\text{DBD}$ の崩壊確率が非常に低いためである。その半減期は 10^{26} 年以上とされている。これほどまでに崩壊確率が低い事象を検出するためには、まず、低ノイズの環境で測定する必要がある。そのために、我々は、低ノイズの環境で二重ベータ崩壊の測定を行いやすい 48Ca を用いる。 48Ca は、 Q 値が全二重ベータ崩壊核中最大で、放出される二つの電子のエネルギー和が環境放射線よりも高いので、より低ノイズ環境での測定に適しているという利点がある。我々は CaF_2 結晶を中心とする CANDLEs 検出器を神岡地下実験施設に建設し、 48Ca の $0\nu\text{DBD}$ の測定を行う。

崩壊確率が低い事象を検出するためには、前述の「低ノイズの環境」のほかに、「大量の二重ベータ崩壊核」の準備も有効である。ひとつひとつの原子核の崩壊確率は低くとも、対象原子核が大量にあれば、どれかの原子核が崩壊するのを検出すればよいからである。この「大量の二重ベータ崩壊核」を用

意するために、CANDLEs では光の透過度の高い CaF_2 結晶を用いて大型化が容易なデザインを採用している。更に有効な手段は、対象原子核を濃縮することである。実際に、 48Ca 以外の原子核を用いた「ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊」の測定では、高濃縮した二重ベータ崩壊核を用いている。しかし、 48Ca (自然存在比 0.187%) は、現状では濃縮した二重ベータ崩壊核を大量に使用することは難しい。濃縮自体が非常に難しいためである。そのため、「低ノイズの環境」に適した原子核であるにもかかわらず、世界の二重ベータ崩壊研究グループは、あまり 48Ca を用いないのである。しかし、我々は、 48Ca 濃縮技術開発を進め、これを実現しつつある。

本研究において、濃縮 48Ca の製造手法を確立し、「低ノイズの環境」で、「大量の二重ベータ崩壊核」を使用した、「ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊」の高感度測定を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、 48Ca を含んだフッ化カルシウム (CaF_2) 結晶をメイン検出器とした CANDLEs 装置 (図2参照) を用いて二重ベータ崩壊の測定を行う。フッ化カルシウムは、内部の 48Ca が二重ベータ崩壊を起こした際に、シンチレーション光を発する。そのシンチレーション光を検出するために、フッ化カルシウムの周りに光センサーを配置する。この装置は、集めるシンチレーション光が増えると、装置性能が改善する。そのため、集めるシンチレーション光を増やすためのライトパイプや冷却システムを導入している。合わせて、濃縮度を上げた 48Ca を生産するための装置建設を行う。

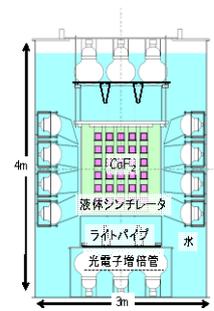


図2: CANDLEs 装置の図。フッ化カルシウムからのシンチレーション光を光センサー (光電子増倍管) で検出する。

4. 研究成果

図2に示している CANDLEs 装置の設置が終了した。ライトパイプ、地磁気補償コイルの導入で、集光効率を上げ、結晶の発光量が低周波で増大することから冷却システムを導入した。これらにより光量を倍増し、エネルギー分解能をほぼ必要な性能まで向上させた。

予備的な観測に入った所で Q 値及び更に高エネルギー領域にバックグラウンドがあることが判明した。その原因を追究して (n, γ) 反応から来る高エネルギー γ 線が原因であることを突き止めた。これは神岡地下実験室に中性子線源を持ち込み確認した。 γ 線は実験室の岩盤の他にステンレス製のタンクからも来ている事を突き止め、これを低減するために遮蔽システムを建設した (図3)。



図3：鉛とBシートからなる遮蔽システム構築後のCANDLES III

遮蔽システムは γ 線を遮蔽する鉛と中性子吸収断面積の大きなホウ素を含むシートを組み合わせて建設した。遮蔽の性能として、高エネルギー γ 線バックグラウンドの2桁削減を目指し、予定通りの削減を観測で確認した。

残された主要なバックグラウンドは、結晶内部の ^{208}Tl の $\beta\gamma$ の崩壊のみとなった。その他のバックグラウンドに関しては、ほぼ対策が完了した。 ^{208}Tl の除去には先行する3分の寿命の α 崩壊を同定し、そのイベントを排除する。この為にデッドタイムが十分に小さいDAQシステムを構築した。エネルギー分解能の向上とバックグラウンドの低減によって、先行する α 粒子同定の能力が向上し、Q値付近のバックグラウンドの低減を達成した。

以上の措置の後、二重ベータ崩壊測定を開始した。数か月の観測と、そのデータの予備的な解析で、CANDLES IIIが ^{48}Ca の既存の観測値を超える性能をもつことが確認できた。以上の結果を元に長期の測定に入った。

一方で、濃縮 ^{48}Ca の製造開発も進んでいる。 ^{48}Ca の自然同位体比は0.19%と低い。そのため、高濃縮 ^{48}Ca を製造するためには、それぞれの濃度に依じた濃縮手法を開発することが効果的である。

まず、低濃度濃縮用の手法：有機化合物（クラウンエーテル）を用いた化学的濃縮法では、10日

間の濃縮プロセスによって、 ^{48}Ca 濃度を30%上げることが成功している（図4）。また、現在、この濃縮 ^{48}Ca を大量生産するためのプラント開発を進めている。この方法で特に障害となるのがクラウンエーテル樹脂の価格で、プラントを建設するとき最大の問題点である。これに関しては独自に制作する技術開発を行った。その結果、材料のコストに

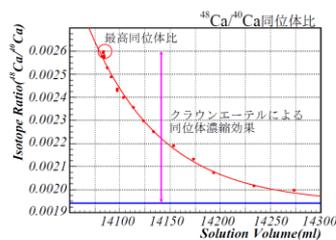


図3：化学法による濃縮。 $^{48}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$ 比が0.0026に増えていることがわかる。

関する限り、1000分の1まで下げられることを確認した。プラントに進むにはもう少しパラメーターサーチが必要で、それを進めている。

一方で、知られている濃縮法は多くあり、研究グループでも他の方法も並行してR&Dを進めて来た。その中で、電気泳動法をベースにする濃縮法に新しい進展があった。MCCCE(Multi-Channel Counter Current Electrophoresis)法と呼ぶ方法である。熱伝導率は高いが絶縁体のBN板に細い溝を多数空けて泳動路とし、高い電場を掛けると共に、その電場での泳動を打ち消す水溶液の流れ（向流）を作ることによって、シンプルな小型の装置で、 $^{48}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$ の比で、数倍から10倍の濃縮度が達成できた。しかも、1時間程度という短時間で達成できた。これは本研究計画に取って非常に大きなステップである。更に本方法は水溶液中でイオン化する全ての元素や化合物に適用可能なので、濃縮を必要とする全ての分野に波及効果が期待できる。現在基本原理を証明した段階で、実用化に向けてスケールを変更した時の問題点を研究している。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 22 件）

- ① “The CANDLES experiment for the study of Ca-48 double beta decay”
T. Iida, T. Kishimoto, M. Nomachi, S. Ajimura, S. Umehara, K. Nakajima, K. Ichimura, S. Yoshida et al.; Nucl. Part. Phys. Proc., 273-275(2016) 2633-2635
<https://doi.org/10.1016/j.nuclphysbps.2015.10.013>
- ② “Recent Studies on Ca Isotope Separation by Crown-Ether Resin Chromatography”
S. Okumura, S. Umehara, T. Kishimoto, M. Nomura, T. Suzuki, M. Ozawa; Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences, 16(2016)11-14
<http://doi.org/10.14494/jnrs.16.11>
- ③ “Status and future prospect of ^{48}Ca double beta decay in CANDLES”
T. Iida, K. Nakajima, S. Ajimura, T. Batpurev, W.M. Chan, K. Fushimi, R. Hazama, H. Kakubata, B.T. Khai, T. Kishimoto, X. Li, T. Maeda, A. Masuda, K. Matsuoka, K. Morishita, N. Nakatani, M. Nomachi, S. Noshiro, I. Ogawa, T. Ohata, H. Ohsumi, K. Suzuki, Y. Tamagawa, K. Tetsuno, V.T.T. Trang, T. Uehara, S. Umehara, S. Yoshida; Journal of Physics: Conference Series, 718(2016)062026
<http://iopscience.iop.org/1742-6596/718/6/062026>
- ④ “Chromatographic Separation of Calcium Isotopes using Beszo-18-Crown-6-Ether Resin and Acetic Acid Solution” S.

- Umehara, S. Okumura, T. Kishimoto, Y. Fujii, M. Nomura, T. Kaneshiki, M. Ozawa; *Austin Chromatography*; 3(1) (2015)1040:1-6
- ⑤ “Separation of calcium-48 isotope by crown ether chromatography using ethanol/hydrochloric acid mixed solvent” S. Okumura, S. Umehara, T. Kishimoto, Y. Fujii, T. Kaneshiki, M. Ozawa; *Journal of Chromatography A*, 1415(2016)67-72
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2015.08.057>
- ⑥ “A basic study on the production of enriched isotope ^{48}Ca by using crown-ether resin” S. Umehara, T. Kishimoto, H. Kakubata, M. Nomura, T. Kaneshiki, T. Suzuki, Y. Fujii, and S. Nemoto; *Prog. Theor. Exp. Phys.*, 053C03 (2015)1-8
 DOI:<https://doi.org/10.1093/ptep/ptv063>
- ⑦ “New DAQ System for the CANDLES Experiment” K. Suzuki, S. Ajimura, W.M. Chan, K. Fushimi, R. Hazama, K. Ichimura, T. Iida, I. Inukai, H. Kakubata, T. Kishimoto, et al.; *Nuclear Science, IEEE Transactions*, 62(3) (2015) 1122-1127
 DOI: 10.1109/TNS.2015.2423673
- ⑧ “The CANDLES Trigger System for the Study of Double Beta Decay of ^{48}Ca ” T. Maeda, S. Ajimura, WM Chan, K. Fushimi, R. Hazama, K. Ichimura, T. Iida, Y. Inukai, H. Kakubata, T. Kishimoto, et al. *Nuclear Science, IEEE Transactions*, 62(3) (2015)1128-1134
 DOI: 10.1109/TNS.2015.2423275
- ⑨ “Calcium isotope enrichment by means of multi-channel counter-current electrophoresis (MCCCE) for the study of particle and nuclear physics” T. Kishimoto, K. Matsuoka, T. Fukumoto and S. Umehara; *Prog. Theor. Exp. Phys.* 033D03(2015) 1-10
 DOI:<https://doi.org/10.1093/ptep/ptv020>
- ⑩ “Search for Neutrino-less Double Beta Decay with CANDLES” S. Umehara, T. Kishimoto, M. Nomachi, S. Ajimura, T. Iida, K. Nakajima, K. Ichimura, et al.; *Physics Procedia* 61(2015)283-288
<https://doi.org/10.1016/j.phpro.2014.12.046>
- ⑪ “Search for neutrino-less double beta decay of ^{48}Ca ” S. Umehara, T. Kishimoto, et al.; *EPJ Web of Conf.*, 66(2014)08008:1-4
 DOI:<http://dx.doi.org/10.3204/DESY-PR-OC-2014-04/97>
- ⑫ “The Candles experiment for the study of ^{48}Ca double beta decay” T. Iida, T. Kishimoto, M. Nomachi, S. Ajimura, S. Umehara, K. Nakajima, et al.; *Nuclear Physics B Proceedings Supplement*, 0(2014)1-3
<https://doi.org/10.1016/j.nuclphysbps.2015.10.013>
- ⑬ “Background reduction using single-photoelectron counting for WIMP search” I. Ogawa, R. Hazama, K. Mukaida, T. Kishimoto, et al.; *Nucl. Instr. And Meth. A*; 705(2013)1-6
<https://doi.org/10.1016/j.nima.2012.12.083>
- ⑭ “Search for neutrino-less double beta decay by CANDLES” S. Umehara, T. Kishimoto, M. Nomachi, S. Yoshida, S. Ajimura, et al., *AIP Conf. Proc.*, 1533(2013)115-120
 doi:<http://dx.doi.org/10.1063/1.4806786>
- ⑮ “Search for neutrino-less double beta decay with CANDLES” S. Umehara, T. Kishimoto, M. Nomachi, S. Yoshida, et al., *AIP Conf. Proc.*, 1441(2012)448-450
 DOI: 10.1063/1.3700581
- [学会発表] (計 160 件)
- ① T. Iida “Low Background double beta decay search in CANDLES” International workshop on Double Beta Decay and Underground Science(DBD16) 2016年11月8日-10日、大阪大学(大阪)
- ② S. Umehara “Search for Neutrino-Less Double Beta Decay of ^{48}Ca -Candles-” 2016年9月11日-16日、Adelaide, Australia
- ③ Sei Yoshida “CANDLES” Revealing the history of the universe with underground particle and nuclear research, Koshiba Hall, Tokyo
- ③ Chan Wei Min “Search for Neutrino-less Double Beta Decay of ^{48}Ca by CANDLES & Isomer Decay $^{180\text{m}}\text{Ta}$ by HPGe Detector(Poster), Hope Meeting(国際会議), 2016年3月7日-11日 つくば国際会議場(つくば市)
- ④ Sei Yoshida “Development of CANDLES detector to search for neutrino-less double beta decay of ^{48}Ca (Poster)” VCI2016, 2016年2月15日-19日, the Vienne University of Technology, Austria
- ⑤ T. Kishimoto “Development of a new ^{48}Ca enrichment method and the CANDLES experiment for the study of ^{48}Ca double beta decay” APS-DNP15, 2015年10月28日-31日、Convention Center in Downtown Santa Fe, USA

- ⑥ T. Iida “Status and future prospect of 48Ca double beta decay search in CANDLES” TAUP2015, 2015年9月7日-11日、Centro Congressi Unione Industriale Torino, Italy
- ⑦ 岸本忠史 「48Caの新濃縮法の開発とCANDLES」物理学会秋季大会(招待講演) 2015年9月25日-28日、大阪市立大学(大阪)
- ⑧ 岸本忠史 「CANDLESの現状と将来計画」新学術研究「地下素核研究」2015年領域研究会 2015年5月15日-17日 神戸大学(神戸)
- ⑨ T. Kishimoto “Enrichment of 48Ca by Multi-channel Counter-Current Electrophoresis(MC-CCE) for the study of Particle and Nuclear Physics” EMIS2015, 2015年5月11日-15日、Michigan State University, USA
- ⑩ 奥村森、梅原さおり他 「クラウンエーテル樹脂によるカルシウムの吸着と同位体分離:臭化水素酸系における特性評価」第13回同位体科学研究会 2015年3月5日、産業技術総合研究所(東京)
- ⑪ 岸本忠史 「48Caの濃縮とニュートリノの研究-物質優勢の宇宙の謎に挑む-」第13回同位体科学研究会(招待講演)2015年3月5日、産業技術総合研究所(東京)
- ⑫ 藤井靖彦、岸本忠史、梅原さおり他 「クラウンエーテル樹脂クロマトグラフィーによる同位体分離の特性評価法」第13回同位体科学研究会 2015年3月5日、産業技術総合研究所(東京)
- ⑬ S. Umehara “CANDLES” 日本物理学会 2014年秋季大会(招待講演) 2014年10月7日-11日 ハワイ、USA
- ⑭ R. Hazama “Overview of detector technologies in low-radioactivity background experiments” 日本物理学会 2014年秋季大会(招待講演) 2014年10月7日-11日 ハワイ、USA
- ⑮ S. Yoshida “CANDLES Project for the study of neutrino-less double beta decay of 48Ca” International workshop on “Double beta Decay and Underground Science”(DBD14) 2014年10月5日-7日、Hawaii, USA
- ⑯ T. Kishimoto “Calcium isotope enrichment by means of multi-channel counter current electrophoresis(MCCCE) for the study of 48Ca double beta decay” International workshop on “Double beta Decay and Underground Science”(DBD14) 2014年10月5日-7日、Hawaii, USA
- ⑰ T. Iida “The CANDLES experiment for the study of 48Ca double beta decay”(Poster) 37th International Conference on High Energy Physics(ICHEP2014) 2014年7月2日-9日、Valencia Conference Center, Spain

⑱ K. Nakajima “Background measurement for neutrino-less double beta decay with CANDLES”(Poster) 2014年6月2日-7日、Boston University, USA

⑲ S. Umehara “Search for neutrino-less double beta decay by CANDLES” The 8th China-Japan Joint Nuclear Physics Symposium, 2012年10月15日-19日、北京、中国

[産業財産権]

○出願状況(計 1件)

名称: 電気泳動装置、電気泳動法および電気泳動法を用いた濃縮・分離・分析方法

発明者: 岸本忠史

権利者: 大阪大学

種類: 特許

番号: 特願 2014-205196

出願年月日: 2014年10月3日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/candles/>

雑誌掲載

- ・Newton 別冊ニュートンムック 「蛍石でニュートリノの謎に挑む CANDLES」 2016年2月5日発行 PP134-137
- ・別冊日経サイエンス 「CPの破れとマヨナラ」 2014年12月17日発行 PP84-92

アウトリーチ活動

神岡二重ベータ崩壊実験室 見学者受け入れ

H28年度 14件 65名

H27年度 8件 45名

H26年度 12件 105名

H25年度 8件 90名

H24年度 6件 135名

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岸本 忠史 (KISHIMOTO Tadafumi)

大阪大学・核物理研究センター・教授

研究者番号: 90134808

(2) 研究分担者

碓 隆太 (HAZAM Ryuta)

大阪産業大学・人間環境学部・准教授

研究者番号: 00379299

野村 雅夫 (NOMURA Masao)

東京工業大学・原子炉工学研究所・助教

研究者番号: 60100997

小澤 正基 (OZAWA Masaki)

東京工業大学・原子炉工学研究所・教授

研究者番号: 80421527

矢野 豊彦(YANO Toyohiko)
東京工業大学・原子炉工学研究所・教授
研究者番号：80158039

(3)連携研究者

能町 正治(NOMACHI Masaharu)
大阪大学・核物理研究センター・教授
研究者番号：90208299

吉田 斉(YOSHIDA Sei)
大阪大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：60400230

梅原 さおり(UMEHARA Saori)
東北大学ニュートリノ科学研究センター・教育研究支援者
研究者番号：10379282

小川 泉(OGAWA Izumi)
福井大学・工学系研究科・准教授
研究者番号：20294142

伏見 賢一(FUSHIMI Ken-ichi)
徳島大学・総合科学部・教授
研究者番号：90274191

玉川 洋一(TAMAGAWA Yoichi)
福井大学・工学系研究科・教授
研究者番号：40236732

大隅 秀晃(OHSUMI Hideaki)
佐賀大学・文教育学部・教授
研究者番号：70176882

味村 周平(AJIMURA Shuhei)
大阪大学・核物理研究センター・准教授
研究者番号：10273575

市村 晃一(ICHIMURA Koichi)
東京大学・宇宙線研究所・特任助教
研究者番号：80600064

飯田 崇史(IIDA Takashi)
大阪大学・核物理研究センター・
特任助教
研究者番号：40722905

中島 恭平(NAKAJIMA Kyohei)
福井大学・工学系研究科・特命助教
研究者番号：30722540

竹本 康浩(TAKEMOTO Yasuhiro)
大阪大学・核物理研究センター・
特任助教
研究者番号：40732186

(4)研究協力者

藤井 康彦(FUJII Yasuhiko)
松岡 健次(MATSUOKA Kenji)
中谷 伸雄(NAKATANI Nobuo)
瀧平 勇吉(TAKIHIRA Yukichi)
角畑 秀一(KAKUBATA Hidekazu)
鈴木 耕拓(SUZUKI Kotaku)
伊藤 豪(ITO Go)
保田 賢輔(YASUDA Kensuke)
田窪 一也(TAKUBO Kazuya)
武本 淳也(TAKEMOTO Jun-ya)
王 偉(WANG Wei)
CHAN Wei Min
土井原正明(DOIHARA Masaaki)
石川 貴志(ISHIKAWA Takashi)
Van Thi Thu Trang
坂 雅幸(SAKA Masayuki)
田中 大樹(TANAKA Daiki)
田中 美穂(TANAKA Miho)
富田 翔平(TOMITA Shohei)
藤田 剛志(FUJITA Tuyoshi)
川村 篤史(KAWAMURA Atsushi)
原田 知優(HARADA Chihiro)
岡田 憲志(OKADA Kenji)
太畑 貴綺(OHATA Takaki)
鉄野高之介(TETSUNO Konosuke)
前田 剛(MAEDA Tsuyoshi)
坂本 康介(SAKAMOTO Kosuke)
犬飼 裕司(INUKAI Uji)
吉澤 真敦(YOSHIIZAWA Masaki)
上原 拓真(UEHARA Takuma)
李 暁龍(LEE Syaoron)
BATPUREV, Temuge
野代 翔平(NOSHIRO Shohei)
増田 旭(MASUDA Akira)
森下 剣(MORISHITA Ken)
鷲野 将臣(WASHINO Masaomi)
SHOKATI, Masoumeh
芥川 一樹(AKUTAGAWA Kazuki)
片桐 誠也(KATAGIRI Seiya)
四ツ永直輝(YOTSUNAGA Naoki)
金川 和貴(KANEKAWA Kazutaka)
Bui Tuan Khai
都築 将仁(TSUZUKI Masahito)
高橋 成企(TAKAHASHI Naruki)
寺西 叶(TERANISHI Kanau)
堂角 史弥(DOUKAKU Fumiya)
木下 円機(KINOSHITA Enki)
石川 雅啓(ISHIKAWA Masahiro)
MOSER, Michael
森 健太郎(MORI Kentaro)
平岡 大和(HIRAOKA Hirokazu)
社本 和輝(SHAMOTO Kazuki)
島田真生子(SHIMADA Makiko)
佐藤 紘祥(SATO Hiroyoshi)
川崎 康平(KAWASAKI Kohei)
戸澤 理詞(TOZAWA Masashi)
木野 秀俊(KINO Hidetoshi)
佐藤 勇吾(SATO Yugo)