

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12698

研究課題名(和文)新清浄環境(CUSP)を用いた安否確認・睡眠分析(KSG) ビッグデータの研究

研究課題名(英文)Analysis of sleep quality and metabolism using CUSP for big data

研究代表者

石橋 晃 (Ishibashi, Akira)

北海道大学・電子科学研究所・教授

研究者番号：30360944

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：オリジナル高清浄環境技術(CUSP)の孤立・閉鎖性を生かし、病院のリハビリ施設やトレーニングルームに導入して好適な、運動中の粉塵吸引を大幅に軽減しながら二酸化炭素・酸素濃度計測から得られる代謝分析を非接触・非侵襲で行うシステムを開発した。特に、代謝測定用にルームランナーを格納した箱型CUSP内でクラス100以上の高清浄度が得られた。このバックグラウンド塵埃数の少なさにより、測定塵埃数から体動量を検出でき、プローブやセンサーなどが一切つながっていない非接触・非侵襲にて、体動を弁別しながら代謝測定を行うことができることを実証した。金属筐体付フィルターにより高清浄度とガンマ線遮蔽能の両立を実証した。

研究成果の概要(英文)：Analyzing conventional cleanrooms, we have demonstrated how well Clean Unit System Platform (CUSP) works. The CUSP serves as a clean versatile environment having low power-consumption and high cost-performance, and is suitable not only for processing the next generation new devices, but also for cross-disciplinary fields, including medical/hygienic applications. CUSP can provide us with dust- and microbe-free environment as good as US FED 209D class 100. Sleeping in the CUSP has opened a window for Kinetosomnogram, which, based on the analysis of the peaks in the particle-count and the autocorrelation of them, would contribute to evaluation of sleep quality and/or sleep disorders. Also, through measuring CO2 and O2 concentration in the CUSP with people inside, it is shown that data concerning metabolism with or without body movement can be obtained. Also, CUSP system has been extended to the case when there are radioactive dusts or particles.

研究分野：物理学、高清浄環境

キーワード：高清浄環境 CUSP 代謝分析

1. 研究開始当初の背景

(1) 高齢化社会、単身世帯の増加する日本において、ICT やビッグデータを活用して、人々のクオリティオブライフ (QOL) の向上、医療費並びに行政コストの抑制、更には社会の活性化が益々重要となって来ている。申請者が考案した新型高潔浄環境技術 Clean Unit System Platform (CUSP) は従来のクリーンルーム技術に比べ、10 分の 1 価格で、10 倍以上の高潔浄度を提供する汎用性に富む技術で、半導体製造の現場だけでなく、PM2.5 問題や免疫力の低い高齢者や乳幼児等の環境弱者に配慮し、超高齢化社会にも対応した健康・福祉医療産業への展開が期待できる。

(2) 就寝時に、微小粒子状物質 (PM2.5) はもとより、細菌を含めた粒径 $0.5\mu\text{m}$ 以上の粒子の総数を 1 立方フィートあたり 100 個以下 (病院における無塵室相当) に抑えることができ、特にテント式 CUSP (T-CUSP) は日本古来の蚊帳の進化版で、高潔浄環境を一般病室や家庭にもたらし得る。バックグラウンド粒子数が大幅に抑えられるため、睡眠中の体動に伴う塵埃数上昇を明確に検出できる。この体動情報に基づく睡眠時分析を Kinetosomnogram (KSG) として開発し、KSG ビッグデータを構築する事で、新たなウエルネス産業構築可能性を追求したい。

2. 研究の目的

(1) オリジナル高潔浄環境技術 (Clean Unit System Platform: CUSP) を利用し、従来は LSI 産業や重篤な患者を対象としていた高度高潔浄環境を広く一般病棟や民生応用に展開することで、迫りくる超高齢社会に対し、医療介護・産業・社会 (見守り) の観点から備える要素技術を確立する。パーティクルカウンターと制御コンピュータを結合して、人の就寝状態を遠隔検知し安否確認・相関分析を行うことで、病院ではなく自宅にいながらにして、健康の維持・向上を図れるようにし、以って「健康寿命」の大幅な延伸を目指す。

(2) 特に、CUSP 内就寝時の体動解析による睡眠分析 Kinetosomnogram (KSG) 及び代謝分析をベースに、高齢者見守り、医療・介護費用抑制、次世代新ウエルネス・健康産業創造、独居高齢者対応行政負担の抑制を三位一体で実現する「遠隔安否確認・KSG ビッグデータ」システムの研究・開発を目的とする。また本系を放射線対応系とする事で、原子力災害時はシェルター機能の付与も目指す。

3. 研究の方法

(1) 孤立・閉鎖系の新高潔浄環境であるテント型 Clean Unit System Platform (T-CUSP) を作製し、その性能の検証を行う。次に複数の T-CUSP ユーザーを対象に、Kinetosomnogram (KSG) のデータを無線転送することで、遠

隔モニタリング・データ集積・分析が可能であることを実証する。

(2) 塵埃粒子数を計測して睡眠中の体動情報を得ると共に、自己相関解析並びに PSG (ポリソムノグラフィ) との比較を行うことで REM 睡眠、ノン REM 睡眠との対応をとる。KSG による安否確認や睡眠品質解析のビッグデータ化を行う。また、T-CUSP 使用前後において、使用者へ当日の睡眠状況のデータをフィードバックし、自己分析も可能なシステムも立ち上げる。遠隔モニタリング T-CUSP システム、KSG に関する知見・経験を蓄積し、モデルシステムを構築する。

4. 研究成果

(1) CUSP は、従来産業に用いられていた高潔浄度を初めて民生用に用いることを可能とする。CUSP の齎す無塵・無菌環境は、花粉症や PM2.5 問題の抑制、並びに呼吸器のリフレッシュにも大きく寄与する。更に、使用者 (特に独居高齢者) の介護等を要しない健康者の段階からデータが蓄積されることで、クオリティオブライフ (QOL) を高く保つことに貢献できると期待される。障子紙よりなるトータル面積約 2 m^2 の GEM を有する GEU を内包した図 1 左に示す CUSP システム (体積約 2.6 m^3) を用いて、清浄度測定実験を行った結果が図 1 右である。市販の空気清浄機を用い、その中性能フィルターに図 1 内挿図に示す金属筐体 (厚み > 線飛程) を装着して放射線含有塵埃対応能力を備えた FFU を有する CUSP において、約 20 分で US209D クラス 100 の清浄度が得られることが示された。原子力・放射線施設における非常時対応・シェルター用としても展開が可能である CUSP 系を構築することができた。

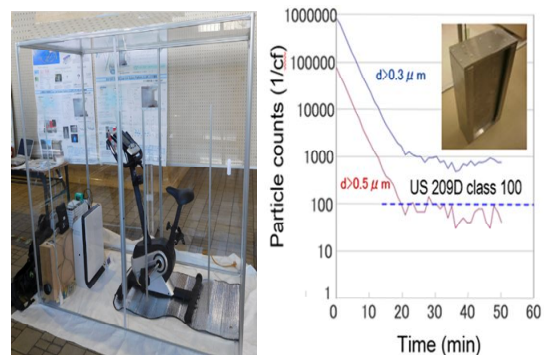


図 1 体動弁別代謝解析 CUSP のプロトタイプ (左写真)。同 CUSP は約 10 分でクラス 100 の高潔浄度に到達する (右グラフ)。

(2) 続いて、この CUSP において、ろうそくを燃焼した際の酸素濃度および二酸化炭素濃度の時間変化を測定し、まず当該 GEU における酸素分子、二酸化炭素分子の実効拡散定数を各々約 $1.1 \times 10^{-7} [\text{m}^2/\text{s}]$ 、約 $0.94 \times 10^{-7} [\text{m}^2/\text{s}]$ と求めた。二酸化炭素の回復の方が酸

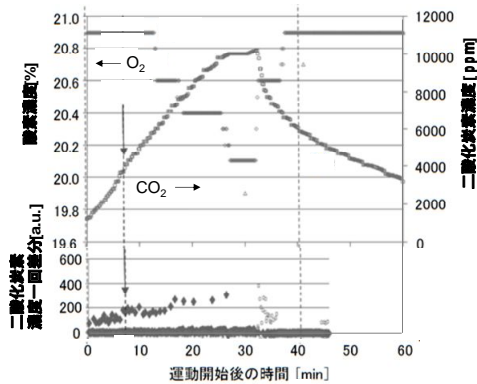


図2 代謝測定 CUSP(プロトタイプ)内での運動時の二酸化炭素と酸素の濃度変化(上図)および、二酸化炭素濃度の開始から30分過ぎまでに対する1回時間階差のプロット(下図)。

素のそれよりやや小さいのは、室温の熱エネルギー kT で分子が運動する速さが、二酸化炭素分子の方が小さいことを反映していると考えられる。以上の結果をもとに、図1に示すCUSPの中で、被験者が高速歩行運動した時の酸素濃度および二酸化炭素濃度の時間変化をプロットしたものが図2上図である。図2下図はその時間差分のプロットである。運動中の二酸化炭素濃度の変化量と酸素濃度の変化量との比が約0.7であることもこの新しい手法で確認された。図2上図において矢印で示される変曲点、および、図2下段の差分データにおけるステップが確認され、糖質ベースの代謝から脂質ベースの代謝への移行が起きている点が検出できていると判断される。このシステムの特徴として非接触・非侵襲の代謝測定実験であるので、高齢者のみならず子供から大人までの全世代に無理なく適用できる新しいシステムであることを実証できた。

(3) 更に、この箱型CUSPを利用して、人間が一般的な生活(部屋への入退出、飲食時、睡眠時等)を送る際の塵埃数と二酸化炭素濃度の時間変化を測定した結果を図3に示す。昼食、くしゃみ、移動、仮眠入り、目覚め、寝袋入り、飲酒等のタイミングを縦方向の矢

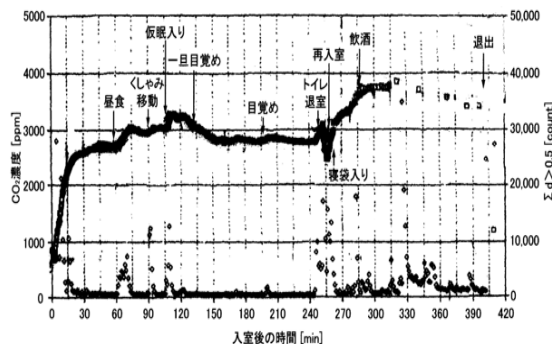


図3 体動弁別代謝解析CUSP中での滞在時の二酸化炭素濃度(上側のデータ)と塵埃数の時間変化(下側のデータ)。塵埃数の増加から体動量を、二酸化炭素(&酸素)濃度から代謝量を解析できる。

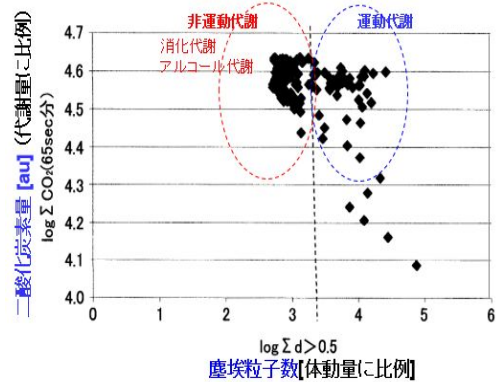


図4 テント式CUSPをコアにしたモニタリングの階層的展開で、病院・療養施設(a1~a3)や家庭・地域・行政区(b1~b3)をカバーする。

印で示す。図に示すように、被験者に体動が生じるイベントに対応して二酸化炭素濃度に変化が生じていることが分かる。更に、相関解析をすると被験者に体動が生じるイベントに対応して二酸化炭素濃度に変化が生じていることが分かる。二酸化炭素濃度と塵埃数を同時測定できる本手法のポテンシャルが示唆されている。図4は、図3に示す粒径 $0.5 \mu m$ 以上のダスト微粒子数のカウント数および65秒分の二酸化炭素濃度の総和を両対数表示したものである。高潔淨孤立閉鎖系においては、塵埃粒子数に比例するものとして、内部滞在者の体動を定量化できるので図4の横軸は、体動量を定量的に示すものである。図4から分かるように、体動量と代謝量の相関プロットをすることで、運動代謝と非運動代謝(消化代謝、アルコール代謝等)を弁別して、非接触・非侵襲で解析することができる世界初めてのシステムである。IoTと結合し、ビッグデータ解析を行うことで、最終的には、医療費の抑制・健康寿命の延伸と高齢者・独居世帯対応行政の負荷(行政コスト)軽減も可能と期待される。CUSP基本特許はすでに確立し*、CUSPに基づく新しい体活動分析手法、空気環境を利用した体情報測定・治療・介護、プラットフォームを可能としてゆくことが期待される。

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3件)

A. Ishibashi, T. Matsuoka, R. Enomoto, M. Yasutake, "New solar cell and clean unit system platform (CUSP) for earth and environmental science", (査読有) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 93, 012081 1-7 (2017)

DOI:10.1088/1755-1315/93/1/012081

A. Ishibashi, M. Yasutake, N. Noguchi, T. Etoh, J. Matsuda, K. Nakaya, T. Ohsawa, Y. Satoh, N. Ohata, M. D. Rahaman, J. Alda and Y. Ohashi, “Clean Unit System Platform (CUSP) for various frontier experiments and applications”, (査読有) Int. J. Eng. Tech. Res. 6(3) 31-35 (2016)

A. Ishibashi, “An approach for uniting bottom-up and top-down systems and its applications”, (査読有) Int. J. Eng. Res. Sci. 2(9) 103-114 (2016)

[学会発表](計 26 件)

石橋 晃, 野口 伸守, 江藤 月生, 松田 順治, 大橋 美久, “孤立・閉鎖系高潔浄環境クリーンユニットシステムプラットフォーム”, 第 35 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会, 早稲田大学国際会議場 (2018-04)

石橋 晃, 野口 伸守, 江藤 月生, 松田 順治, 大橋 美久, “CUSP(クリーンユニットシステムプラットフォーム)開発過程で発見した新技術「拡散換気」のミニマルファブ応用可能性”, 平成 30 年度ファブシステム研究会定期総会, 産業技術総合研究所(つくば中央) (2018-04)

石橋 晃, 松田 順治, 大橋 美久, “高潔浄環境CUSP(クリーンユニットシステムプラットフォーム)”, 平成 29 年度北海道トライアル新商品展示会, 北海道庁 (2018-01)

石橋 晃, “体動分離型代謝測定システム”(招待講演)ものづくり系新技術説明会, JST 東京本部別館 1 F ホール (2017-12)

A. Ishibashi, T. Matsuoka, R. Enomoto, M. Yasutake, “New solar-cell system and clean unit system platform (CUSP) for Electronics, Communications and Networks”(招待講演), CECNet2017 (National Dong Hwa University, Taiwan, 2017-11)

A. Ishibashi, Y. Ohtsuki, R. Enomoto, M. Yasutake, J. Matsuda, Y. Ohashi, “Clean Unit System Platform (CUSP) for radioactive dusts”, The 18th Ries-Hokudai Intn'l Symposium, Sapporo (2017-11)

石橋 晃, 澤村 信雄, 野口 伸守, 江藤 月生, 大橋 美久, “ミニマルファブとのシナジーを目指した高機能清浄環境CUSPと新型太陽電池の最近の展開”, 平成 29 年度ファブシステム研究会臨時総会, 産業技術総合研究所(つくば中央) (2017-09)

石橋 晃, 松田 順治, 野口 伸守, 江藤 月生, 大橋 美久, 原 史朗, “Clean Unit System Platform (CUSP)とミニマルファブシステムのシナジーの可能性”, 日本応用物

理学会 (2017-09)

石橋 晃, 松田 順治, 安武 正弘, “トレーニング、介護等にも活用可能な高潔浄環境CUSP(クリーンユニットシステムプラットフォーム)”, SPORTEC 2017, 東京ビッグサイト (2017-07)

石橋 晃, “フォトンフォトキャリア直交型太陽電池の進展とクリーン環境CUSPの展開”, 平成 29 年度物質・デバイス領域共同研究拠点事業『次世代デバイス・システムの展望 ~ 新型太陽電池並びに清浄環境の新展開』研究会, 北海道大学 (2017-07)

石橋 晃, “ABE² 4 次元空間と新型高潔浄環境(CUSP)”, 平成 28 年度附置研アライアンス成果報告会~人・環境と物質をつなぐイノベーション創出ダイナミックアライアンス, 北海道大学 (2017-07)

A. Ishibashi, R. Enomoto, T. Ishikawa, M. Yasutake, “Systems Development in Atom-Bit-Energy/Environment (ABE²) Space for a New Solar-cell, Medical and Safety Applications Based on Clean Unit System Platform (CUSP)” (招待講演), Collaborative Conference on Materials Research (CCMR) 2017, Jeju Island, Korea (2017-06)

M. Yasutake and A. Ishibashi, “A Unique Non-Contact Method To Assess Sleep Quality By Detecting Body Movements Via Monitoring Air-borne Particles In An Ultraclean Space”, SLEEP 2017, Boston, USA (2017-06)

石橋 晃, 安武 正弘, 野口 伸守, 松田 順治, 大橋 美久, “高機能清浄環境CUSP・新型太陽電池の展開とミニマルファブ”, 平成 29 年度ファブシステム研究会定期総会, 産業技術総合研究所(つくば中央) (2017-04)

大橋 美久, 松田 順治, 青池 淳司, 石橋 晃*: 「トレーニング・フィットネスに向けた高潔浄環境CUSP(クリーンユニットシステムプラットフォーム)」、平成 28 年度北海道トライアル新商品展示会, 北海道庁 (2017-01)

石橋 晃, 原 史朗, 大橋 美久, 松田 順治, 江藤 月生, 野口 伸守: 「クリーンユニットシステムプラットフォーム(CUSP)のミニマルファブ応用可能性」、ミニマルファブエグゼクティブフェア、電気ビル共創館(福岡市中央区) (2016-11)

A. Ishibashi, “New high-efficiency solar cells and clean unit system platform (CUSP) in atom-bit-energy/environment space”, HOKUDAI-NCTU Int'l Joint Symposium, Sapporo (2016-10)

松田 順治*, 大橋 美久, 石橋 晃: 「高

清浄環境C U S P (クリーンユニットシステムプラットフォーム)」、The 41st International Healthcare Engineering Exhibition HOSPEX Japan 2016、東京ビッグサイト (2016-10)

M. Yasutake and A. Ishibashi: "Application of Clean Unit System Platform (CUSP) for sleep diagnostics: evaluation of sleep quality by monitoring air-borne particles in an ultraclean space", The 23rd Congress of European Sleep Research Society, Bologna, Italy (2016-09)

石橋 晃：「高清浄環境C U S P(クリーンユニットシステムプラットフォーム)」(招待講演)、北大北キャンパス・ビジネスネットワーク拡大プロジェクト 2016、札幌 (2016-09)

- ②① 石橋 晃、河西 剛、澤村 信雄、野口 伸守、江藤 月生、松田 順治、大橋 美久：「ミニマルファブと新型太陽電池、高機能清浄環境 CUSP のシナジー」、平成 28 年度ファブシステム研究会臨時総会、産業技術総合研究所(つくば中央) (2016-09)
- ②② 石橋 晃、「高清浄環境C U S P技術の早期社会浸透に向けた要素技術」、平成 28 年度物質・デバイス領域共同研究拠点事業：平成 28 年度科学研究費助成事業『次世代デバイス・システムの展望 ~ 高効率太陽電池並びに清浄環境の新展開』研究会(電子研学術講演会)、北海道大学 (2016-07)
- ②③ 安武 正弘、石橋 晃：「Clean Unit System Platform (CUSP)を用いた清浄環境下塵埃微粒子モニタリングによる睡眠情報検知の試み」、日本睡眠学会第 41 回定期学術集会、京王プラザホテル(東京都) (2016-07)
- ②④ 石橋 晃、安武 正弘、松田 順治、大橋 美久：「フォトンフォトキャリア直交型太陽電池プロセスプラットフォーム及び民生用清浄環境としての Clean UnitSystem Platform (CUSP)の発展」、PV Japan 2016、Yokohama (2016-06 ~ 2016-07)
- ②⑤ 野口 伸守*、石橋 晃：「ビル・マンション・一般住宅に組込める画期的なC U S P 高清浄環境」、S A G A 建設技術フェア 2 0 1 6、マリトピア、佐賀市 (2016-06)
- ②⑥ 石橋 晃、野口 伸守、江藤 月生、松田 順治、大橋 美久：「ミニマルファブシステム設置環境としての クリーンユニットシステムプラットフォーム (CUSP) 組込み建築物の検討」、平成 28 年度ファブシステム研究会定期総会、産業技術総合研究所(つくば中央) (2016-04)

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計11件)

名称：建築物およびプレフィルター

発明者：石橋 晃

権利者：株式会社石橋建築事務所、有限会社近代設備設計事務所、飛栄建設株式会社、シーズテック株式会社

種類：特許

番号：PCT/JP2018/11601

出願年月日：2018年03月23日

国内外の別：国外

名称：建築物およびその製造方法

発明者：石橋 晃

権利者：石橋 晃、清水一智、シーズテック株式会社、飛栄建設株式会社、株式会社石橋建築事務所

種類：特許

番号：特願 2017-219568

出願年月日：2017年11月15日

国内外の別：国内

名称：代謝測定システムおよび代謝測定方法

発明者：石橋 晃

権利者：国立大学法人北海道大学

種類：特許

番号：特願 2017-203211

出願年月日：2017年10月20日

国内外の別：国内

名称：代謝測定システムおよび代謝測定方法

発明者：石橋 晃、安武 正弘

権利者：国立大学法人北海道大学

種類：特許

番号：特願 2017-203211

出願年月日：2017年10月20日

国内外の別：国内

名称：Construction and Gas Exchange Device

発明者：石橋 晃

権利者：石橋 晃、清水一智、シーズテック株式会社、飛栄建設株式会社、株式会社石橋建築事務所、有限会社近代設備設計事務所

種類：特許

番号：1703000921 (Thailand)

出願年月日：2017年5月29日

国内外の別：国外

名称：System and method using information of involuntary body movement during sleep, and sleeping state detection system and method

発明者：A. Ishibashi, M. Yasutake, F. Ishibashi

権利者：Akira Ishibashi, Masahiro Yasutake, C'sTEC Corp., Ishibashi Kenchiku Jimusho Corp., Hiei Kensetsu Corp., Kindai Setsubi Sekkei Jimusho Corp., Kazutomo Shimizu, Makoto Fukano, Wonderworks Corp.

種類：特許

番号：11201703256W (Singapore)

出願年月日：2017年4月20日

国内外の別：国外
名称：建築物およびプレフィルター
発明者：石橋 晃
権利者：石橋 晃、株式会社石橋建築事務所、有限会社近代設備設計事務所、飛栄建設株式会社、シーズテック株式会社
種類：特許
番号：特願 2017- 81064
出願年月日：2017 年 4 月 17 日
国内外の別：国内
名称：建築物およびその製造方法
発明者：石橋 晃
権利者：石橋 晃、清水一智、シーズテック株式会社、飛栄建設株式会社、株式会社石橋建築事務所
種類：特許
番号：特願 2016-207521
出願年月日：2016 年 10 月 24 日
国内外の別：国内
名称：System and method using information of involuntary body movement during sleep, and sleeping state detection system and method
発明者：A. Ishibashi and M. Yasutake, F. Ishibashi
権利者：A. Ishibashi and M. Yasutake, C'sTEC Corporation
種類：特許
番号：11201604190R (Singapore)
出願年月日：2016 年 05 月 25 日
国内外の別：国外
名称：高潔浄環境システム
発明者：石橋 晃
権利者：石橋 晃、シーズテック株式会社
種類：特許
番号：特願 2016-093543
出願年月日：2016 年 05 月 09 日
国内外の別：国内
名称：System and method using information of involuntary body movement during sleep, and sleeping state detection system and method
発明者：A. Ishibashi and M. Yasutake
権利者：A. Ishibashi and M. Yasutake, C'sTEC Corporation
種類：特許
番号：US15/032,749
出願年月日：2016 年 04 月 28 日
国内外の別：国外

取得状況（計 4 件）

名称：建築物およびその製造方法
発明者：石橋 晃
権利者：石橋 晃、清水一智、シーズテック株式会社、飛栄建設株式会社、株式会社石橋建築事務所
種類：特許
番号：特許第 6292563 号
取得年月日：2018 年 2 月 23 日

国内外の別：国内
名称：放射性物質及び放射線対応ファンフィルターユニット、放射性物質及び放射線対応高潔浄環境システム、放射性物質含有廃棄物の減容処理システム、放射性物質および放射線対応フィルタ並びに水洗除染装置
発明者：石橋 晃
権利者：シーズテック株式会社、石橋 晃
種類：特許
番号：特許第 6241784 号
取得年月日：2017 年 11 月 17 日
国内外の別：国内
名称：高潔浄環境システム
発明者：石橋 晃
権利者：石橋 晃、シーズテック株式会社
種類：特許
番号：特許第 6202412 号
取得年月日：2017 年 9 月 8 日
国内外の別：国内
名称：System and method using information of involuntary body movement during sleep, and sleeping state detection system and method
発明者：石橋 晃
権利者：Akira Ishibashi, Masahiro Yasutake, C'sTEC Corporation
種類：特許
番号：11201604190R (Singapore)
取得年月日：登録日 2017 年 5 月 11 日
国内外の別：国外
名称：プレフィルター
発明者：石橋 晃、江藤月生、野口伸守、j 松田 順治
権利者：石橋 晃、シーズテック(株)、飛栄建設(株)、(株)石橋建築事務所、(有)近代設備設計事務所
種類：実用新案
番号：登録第 3216318 号
取得年月日：2018 年 4 月 25 日
国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://qed4.es.hokudai.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石橋 晃 (ISHIBASHI AKIRA)
北海道大学・電子科学研究所・教授
研究者番号：30360944

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

安武 正弘 (YASUTAKE MASAHIRO)
日本医科大学・医学研究科・教授
研究者番号：70281433

(4) 研究協力者

松田順治 (MATSUDA JUNJI)
大橋美久 (OHASHI YOSHIHISA)