



ブルーエネルギー開発に向けた 極薄ナノポア膜発電素子の研究

産業科学研究所 バイオナノテクノロジー研究分野

准教授 筒井 真楠

 Researchmap <https://researchmap.jp/makusu>

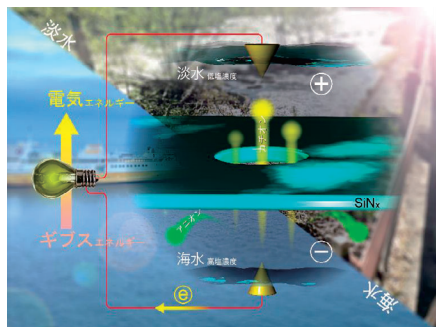
研究の概要

海水と河水の塩分濃度差から高効率に電気エネルギーを生み出す逆電気透析発電技術の熾烈な研究開発競争が国内外で展開されている。従来技術では発電にイオン交換樹脂が用いていたが、厚さがマイクロメートル以上の膜であるため、イオンの選択性は良好なものの透過性に乏しく、低いエネルギー変換効率しか得られなかった。我々はこの現状を打破するべく、高いイオン選択性と透過性を両立する新たなイオン交換膜として、膜厚が数十ナノメートルの極薄固体膜にナノサイズの細孔（ナノポア）を加工した極薄ナノポア膜の研究開発を進めている。

研究の意義と将来展望

半透膜を隔てて食塩水と真水があると、濃度拡散によって真水側から食塩水側に水分子が移動し、浸透圧が生じる。我々が化学の実験で学ぶこの基本的な現象を発電に利用しようとする研究が現在大きな注目を集めている。その一つが、逆電気透析技術である。この技術では、陽イオンまたは陰イオンだけを透過するイオン交換膜を隔てて塩分濃度の異なる水を配す。すると、化学実験で学ぶ浸透圧現象と同じように、濃度拡散によってイオンが高濃度側から低濃度側へと移動する。その際、

陽イオンまたは陰イオンだけが膜を透過するため、イオンの移動に伴い電位差が生じる。つまり、イオンのギブス自由エネルギーが電気エネルギーに直接変換される訳である。この発電原理を、地球上にある莫大な量の海水と河水で実践することで、原子力発電所1000基分に相当する発電が可能になると期待されている。発電量が天候等に左右される風力・太陽光発電とは異なり、膜と塩分濃度差があれば発電可能な原理であるため、安定な電力供給が可能なシステムとなる。その社会実装の鍵となる大面積なイオン交換膜による高効率な逆電気透析発電を極薄ナノポア膜で実現することで、海洋資源が豊富な我が国ならではのサステナブルなクリーンエネルギー資源が創出できる。



特許

論文

Tsutsui, Makusu; Yokota, Kazumichi; Leong, Iat-Wai et al. Sparse multi-nanopore osmotic power generators. Cell Rep. Phys. Sci. 2022, 3(10), 101065. doi: 10.1016/j.xcrp.2022.101065
Tsutsui, Makusu; Arima, Akihide; Yokota, Kazumichi et al. Ionic heat dissipation in solid-state pores. Sci. Adv. 2022, 8 (6), eab17002. doi: 10.1126/sciadv.ab17002
Tsutsui, Makusu; Hsu, Wei-Lun; Garoli, Denis et al. Gate-all-around nanopore osmotic power generators. ACS Nano. 2024, 18(23), 15046-15054. doi: 10.1021/acsnano.4c01989
Tsutsui, Makusu; Yokota, Kazumichi; Hsu, Wei-Lun et al. Peltier cooling for thermal management in nanofluidic devices. Device. 2024, 2(1), 100188. doi: 10.1016/j.device.2023.100188
Tsutsui, Makusu; Hsu, Wei-Lun; Yokota, Kazumichi et al. Scalability of nanopore osmotic energy conversion. Exploration. 2024, 4(2), 20220110. doi: 10.1002/EXP.20220110

参考URL

キーワード 塩分濃度差発電、ナノポア、イオン交換膜

<https://researchmap.jp/tbt>



都市ストックにおける屋根面・壁面 設置太陽光発電ポテンシャルの推計

工学研究科 環境エネルギー工学専攻

准教授 山口 容平

<https://researchmap.jp/read0140668>

博士後期課程 正野 景大



研究の概要

太陽光発電（PV）モジュールの設置は、都市部の建築ストックの脱炭素化に最も効果的な対策のひとつである。近年では建材一体型太陽光発電（BIPV）モジュールの開発が進められており、屋根面のみならず、ファサード面を利用した太陽光発電設置が技術的に可能となっている。本研究では、地域規模における建物の表面の時間ごとの太陽光発電の潜在的可能性を推定するモデルを開発し、日本の東京にある非住宅建築物に適用したケーススタディを示した。

研究の意義と将来展望

本研究では都市建築ストックの脱炭素化に有意義な知見が得られた。特に、年間推計結果では、BIPV モジュールが建築ストックの脱炭素化を大幅に促進できることが明らかになり、2050年の建築ストックの電力需要の33%は建築物のファサードに設置されたBIPV、15%は屋根に設置されたPVモジュールで賄うことができることが示された。さらに、設置方位により日射の時刻別特性が異なることから、どの面にBIPVを設置するかによって発電の季節・時刻特性が大きく変化することが分かった。特に大規模に設置が行わ

れた場合、系統側発電設備の資産利用率の低下が生じ、電力需給の調整力が必要となることがわかった。

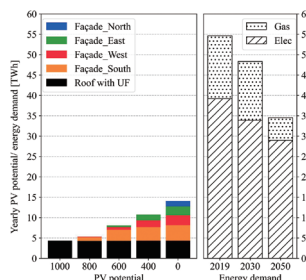


図1. 年間日射量閾値 $[kWh/(m^2 \cdot 年)]$ に対する年間 PV 発電ポテンシャルと2019年度、2030年度、2050年度年間エネルギー需要との比較。「Elec」は電気を意味する。

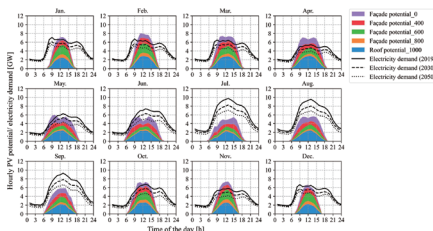


図2. 月別晴天時の平均時刻別 PV 発電ポテンシャルと電力需要。各色の領域は、年間日射量閾値 $[kWh/(m^2 \cdot 年)]$ の緩和に対して追加されるポテンシャルを示す。

特 許

論 文

Shono, Keita; Yamaguchi, Yohhei; Perwez, Usama et al. Large-scale building-integrated photovoltaics installation on building façades: Hourly resolution analysis using commercial building stock in Tokyo, Japan. *Sol Energy*. 2023, 253, 137-53. doi: 10.1016/j.solener.2023.02.025
Yamaguchi, Yohhei; Shoda, Yuto; Yoshizawa, Shinya et al. Feasibility assessment of net zero-energy transformation of building stock using integrated synthetic population, building stock, and power distribution network framework. *Applied Energy*. 2023, 333, 120568. doi: 10.1016/j.apenergy.2022.120568
Perwez, Usama; Shono, Keita; Yamaguchi, Yohhei et al. Multi-scale UBEM-BIPV coupled approach for the assessment of carbon neutrality of commercial building stock. *Energy and Buildings*. 2023, 291, 113086. doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113086

参考URL

<https://see.eng.osaka-u.ac.jp/seeue/seeue/>

キーワード

建材一体型太陽光発電、地理情報システム、電力需給解析、太陽エネルギー、都市脱炭素



不安定性を利用した多足ロボットの機敏で 効率的な歩行の新技術

基礎工学研究科 機能創成専攻

教授 青井 伸也

Researchmap https://researchmap.jp/shinya_aoi

研究の概要

多足ロボットは、多くの足を持つために耐故障性や転倒回避性に優れており、様々な場所で活用できると期待されています。しかしながら、環境と複雑に相互作用する多くの足の運動計画や制御は難しく、その実現は困難でした。特に、地面につけている多くの足が障害となり、急旋回のような機敏な運動を行うことは至難の業でした。我々は、回転バネにより柔軟な体軸を持つ多足ロボットを開発し、そのバネ剛性をパラメータとするピッチフォーク分岐によって直線歩行が不安定化し、剛性に依存した曲率を持つ円歩行に遷移することを明らかにしました。さらに、この剛性を変化させる可変剛性機構をロボットに搭載することで直線歩行の不安定化を自在に引き起こし、それによって遷移する円歩行の曲率を制御することで、機敏で効率的な歩行の実現に成功しました。

研究の意義と将来展望

この研究により、多足ロボットの機敏で効率の良い歩行を実現することが可能になりました。将来的には、人が立ち入ることの難しい場所で人に代わって作業するなど、様々な状況での利用に応用されることが期待されます。また、シンプルな制御ながら不安定性や分岐などの力学特性を利用した運動機能の向上は、今後様々な人工物の開発に役立ち、生

物の優れた運動戦略の理解にも重要な示唆を与えると期待されます。

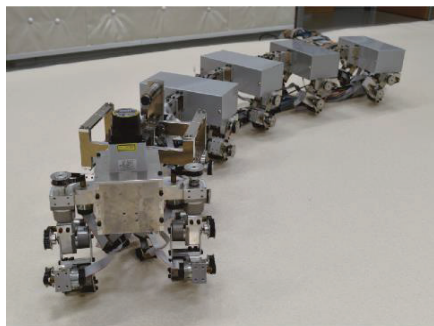


図1. 多足ロボット

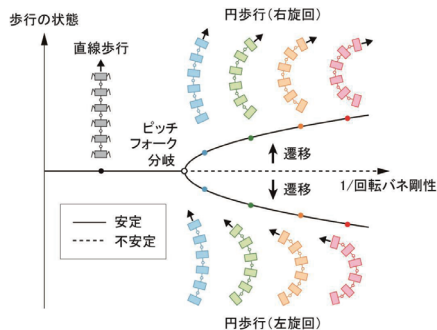


図2. 体軸の回転バネ剛性に応じた安定な歩行の変化

特許

論文 Aoi, Shinya; Yabuuchi, Yuki; Morozumi, Daiki et al. Maneuverable and efficient locomotion of a myriapod robot with variable body-axis flexibility via instability and bifurcation. Soft Robotics. 2023, 10(5), 1028-1040. doi: 10.1089/soro.2022.0177
Aoi, Shinya; Tomatsu, Ryoe; Yabuuchi, Yuki et al. Advanced turning maneuver of a many-legged robot using pitchfork bifurcation. IEEE Transactions on Robotics. 2022, 38(5), 3015-3026. doi: 10.1109/TRO.2022.3158194

参考URL <https://mechbiosys.me.es.osaka-u.ac.jp/index.html>

キーワード 多足ロボット、機動性、不安定性、ピッチフォーク分岐、可変剛性



地域スマートシティにむけた 先進材料とセンサシステムの共創

産業科学研究所 先進材料実装研究分野



准教授 荒木 徹平

https://researchmap.jp/teppe_i_araki

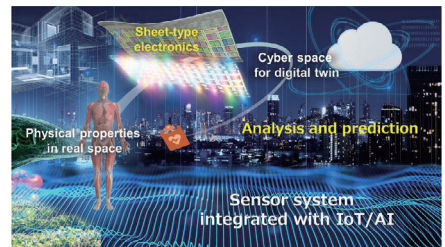
特任助教 阿部 岳晃

https://researchmap.jp/taka_abe

研究の概要

地域住民が安全・安心に暮らせる持続可能なスマートシティ創出への貢献を目指し、地域社会に潜む課題を解決するための先進材料や電子デバイスの基礎研究から、IoTなどを活用した「さりげなく見守るセンサシステム」を創出するための応用研究まで行っています。センサシステムは「信頼される人とデジタルのインターフェース」として機能し、地域を支える人・ファシリティ・自然を対象としたヘルスケアを実現します。研究推進時には、あらゆるステークホルダーと連携して、地域スマートシティへのテクノロジーの実装や、新たな価値づくりをゼロから共創することも試みています。

特微量を抽出できます。将来、シート型センサにより得られる「日常通りに活動する対象物内部の」高品質データは、クラウドに蓄積されてデジタルツインの構築や、人、農作物、インフラ構造物などの異常予測、さらには迅速な対処を行う効率的なシステム構築につながります。



研究の意義と将来展望

実空間とデジタル空間の翻訳機となるシート型センサは、柔軟性や透明性が高いため、人・ファシリティ・自然などの表面に貼りついた状態でも「対象物に負荷なく」、内部の

特 許	特許第6889941号、特許第6865427号、特許第6832535号
論 文	Araki, Teppei et al. Broadband photodetectors and imagers in stretchable electronics packaging. <i>Advanced Materials</i>. 2024, 36(20), 2304048. doi: 10.1002/adma.202304048 Kawabata, Rei et al. Ultraflexible wireless imager integrated with organic circuits for broadband infrared thermal analysis. <i>Advanced Materials</i>. 2024, 36(15), 2309864. doi: 10.1002/adma.202309864 Araki, Teppei et al. Skin-like transparent sensor sheet for remote healthcare using electroencephalography and photoplethysmography. <i>Advanced Materials Technologies</i>. 2022, 7(11), 2200362. doi: 10.1002/admt.202200362 Takemoto, Ashuya et al. Fully transparent, ultrathin flexible organic electrochemical transistors with additive integration for bioelectronic applications. <i>Advanced Science</i>. 2022, 10(2), 2204746. doi: 10.1002/adv.202204746 Li, Kou et al. Stretchable broadband photo-sensor sheets for nonsampling, source-free, and label-free chemical monitoring by simple deformable wrapping. <i>Science Advances</i>. 2022, 8(19), eabm4349. doi: 10.1126/sciadv.abm4349 Petritz, Andreas et al. Imperceptible energy harvesting device and biomedical sensor based on ultraflexible ferroelectric transducers and organic diodes. <i>Nature Communications</i>. 2021, 12(1), 2399. doi: 10.1038/s41467-021-22663-6
参考URL	https://www.sanken.osaka-u.ac.jp/organization/srp/srp02.html
キーワード	ナノ・マイクロ材料、柔軟エレクトロニクス実装、センサシステム



チタン合金のワイヤーク指向性エネルギー堆積における金属蒸気特性および柱状結晶粒形成に及ぼす溶融挙動の影響機構

接合科学研究所 エネルギー制御学分野



助教 吳 東升

<https://researchmap.jp/dongshengwu>

講師 古免 久弥

https://researchmap.jp/H_Komen

研究の概要

WA-DED（ワイヤーク指向性エネルギー堆積）中に容易にタングステン電極は消耗し、その結果、アークが不安定になることで堆積品質は低下する。また、溶融挙動に影響を受けた金属蒸気の特性は、タングステン電極の消耗に大きな影響を与える。

本研究では、分光システムを採用し、チタン合金のWA-DEDにおけるアーク温度と金属蒸気分布の測定を行った。そして、タングステン電極の汚染メカニズムが明らかとなった。Ti⁺イオンはカタフォレシスによって負極の表面に輸送され、電極の消耗を支配する。

研究の意義と将来展望

本研究により、WA-DED中の電極消耗のメカニズムが明らかとなった。この結果は、金属蒸気の含有量を減少させ、その分布を変えることで電極の汚染を抑制できる可能性を示唆している。アーク電流の減少、移動速度やワイヤ供給速度の増加、さらにパルス電流モードの使用により、溶融チタンの温度を下げ、チタンの蒸発を抑えることで、電極消耗の抑制が期待できる。

電極消耗と柱状晶の形成を抑制するために、今後、超高周波パルスTIGベースのWA-DEDプロセスを開発し、チタン部品を製造する予定である。

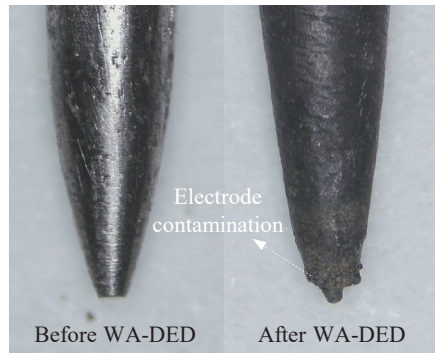


図1 ワイヤーク指向エネルギー堆積前後の電極形態

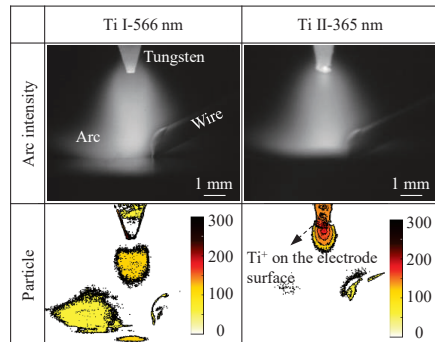


図2 ワイヤーク指向エネルギー堆積中のアーク強度と粒子分布

特許

論文

Xiao, Xiao; Wu, Dongsheng; Komen, Hisaya et al. Influencing mechanisms of melt behavior on metal vapor characteristic and columnar grain formation in wire-arc directed energy deposition of titanium alloy. Additive Manufacturing. 2024, 82, 104029. doi: 10.1016/j.addma.2024.104029
Xiao, Xiao; Wu, Dongsheng; Komen, Hisaya et al. Stabilising mechanism of cathode jet and droplet transfer in hybrid-laser-GMAW-based directed energy deposition of titanium alloy. Virtual and Physical Prototyping. 2024, 19(1), e2384659. doi: 10.1080/17452759.2024.2384659

参考URL

<https://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~dpt1/index-e.html>

キーワード

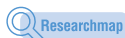
ワイヤーク積層製造、チタン合金、金属蒸気、柱状晶から等軸晶への転移



空調のエネルギーマネジメントとその実証

情報科学研究科 情報システム構成学講座

特任助教 趙 大放



<https://researchmap.jp/zhaodafang>

准教授 谷口 一徹



<https://researchmap.jp/ittetsu>



研究の概要

本研究では、シンボリック回帰とモデル予測制御 (MPC) を活用した空調システム (HVAC) のオンラインエネルギー管理フレームワークを提案しました。このフレームワークは、既存の HVAC システムに容易に統合できる柔軟性と実用性を備え、エネルギー消費の削減とピーク電力需要の抑制を同時に実現します。本フレームワークの中核となるシンボリック回帰は、室内外の温度や消費電力といった限られたデータのみを利用して、建物の熱力学的挙動を効率的に予測します。これにより、従来の物理モデルに基づく方法に比べて、モデリングや計算負荷が大幅に軽減されました。実験では、冷房運転で最大 49.3%、暖房運転で最大 73.9% のエネルギー削減を実現し、ピーク電力需要も冷房で最大 25.8%、暖房で最大 35.1% 削減されました。さらに、このアプローチは、乗員の快適性を確保しながらエネルギー効率を最適化する手法としても有望です。

研究の意義と将来展望

本フレームワークは、追加のハードウェアを必要とせず、既存の HVAC システムのセンサーのみを活用してエネルギー効率を向上させる、低コストで持続可能なソリューションを提供します。この特長は、特に多くの建物や施設で適用可能であり、広範なエネルギー

管理ソリューションとしての可能性を秘めています。また、本研究で採用されたシンボリック回帰は、モデルの透明性と解釈可能性を提供する点で、他の機械学習手法に比べて優れています。将来的には、計算速度のさらなる向上や複数ゾーンへの対応を進め、より大規模な建物群や施設全体への適用を目指します。さらに、占有情報やエネルギー価格の変動、電力需要予測などを統合することで、より高度で包括的なエネルギー管理システムを構築する予定です。これにより、HVAC の運用効率を最大化するとともに、持続可能なエネルギー管理の実現に貢献することが期待されます。

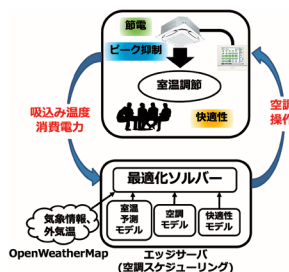


図1. 空調エネルギーマネジメントフレームワーク

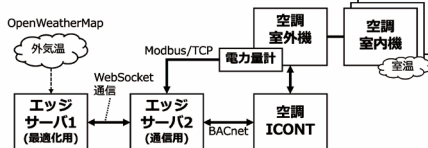


図2. システム構成

特 許	
論 文	Zhao, Dafang; Watari, Daichi; Ozawa, Yuki et al. Data-driven online energy management framework for HVAC systems: An experimental study. Applied Energy. 2023, 352, 121921. doi: 10.1016/j.apenergy.2023.121921 Watari, Daichi; Taniguchi, Ittetsu; Catthoor, Francky et al. Thermal comfort aware online energy management framework for a smart residential building. 2021 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE). 2021, 535-538. doi: 10.23919/DATE51398.2021.9473922
参考URL	https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/
キーワード	シンボリック回帰、エネルギー効率化、データ駆動型エネルギー管理



超高精度ミラーを用いた極限集光 X 線自由電子レーザーの実現

工学研究科 附属精密工学研究センター

助教 山田 純平



Researchmap

https://researchmap.jp/J_Y190325

研究の概要

ナノレベルの形状精度と原子レベルの表面粗さで作り込まれた鏡（ミラー）は「理想的な X 線レンズ」として機能する。独自の X 線ミラー光学系を発案・実証し、X 線の波長領域にて波動光学的に回折限界を達成する高精度ミラーを作製することで、X 線自由電子レーザー（XFEL）における 7 ナノメートル（nm）集光径と 10^{22} W/cm² のピーク強度を実現した。これは X 線領域として世界最高強度を、XFEL の集光径として最小サイズを示すものである。また応用実験として、固体密度金属 Cr（クロム）の高度電離状態を計測し、電子が全て剥ぎ取られた「裸の原子殻」状態の生成が示された。

研究の意義と将来展望

得られた結果より、開発した 7 nm 集光・ 10^{22} W/cm² 強度の XFEL を用いれば、恒星内部の電離状態を地上に再現できること、X 線励起によって電子温度 1 億 K 以上へ加熱できること、が示唆された。宇宙から降り注ぐ X 線スペクトルとの比較検証や熱核融合反応の初期状態探索が行える可能性があり、今後、宇宙物理学や原子物理学、高強度場科学と

いった分野への応用が期待される。また、今回実現された XFEL 集光強度は、未踏の X 線非線形光学現象の実現や、結晶化を必要としないタンパク質の単分子構造解析が可能になる光子密度に相当する。特に、可視光レーザーが辿ってきた歴史を鑑みると、新たに探索可能となる X 線非線形光学は、既存の限界を超える計測技術や光学技術を創出し得る。

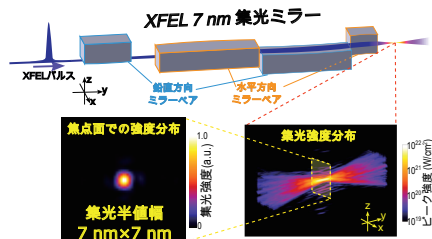


図1. X 線自由電子レーザーの 7 nm 集光システム

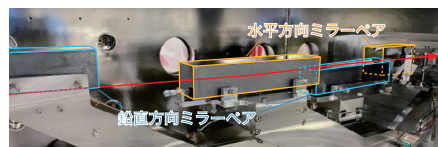


図2. 真空チャンバ内の 7 nm 集光ミラー

特 許	
論 文	Yamada, Jumpei; Yabashi, Makina; Yamauchi, Kazuto et al. Extreme focusing of hard X-ray free-electron laser pulses enables 7 nm focus width and 10^{22} W cm ⁻² intensity. Nature Photonics. 2024, 18, 685-690. doi: 10.1038/s41566-024-01411-4
参考 URL	http://www-up.prec.eng.osaka-u.ac.jp/ https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2024/20240315_2
キーワード	X 線ミラー、X 線自由電子レーザー、X 線集光