

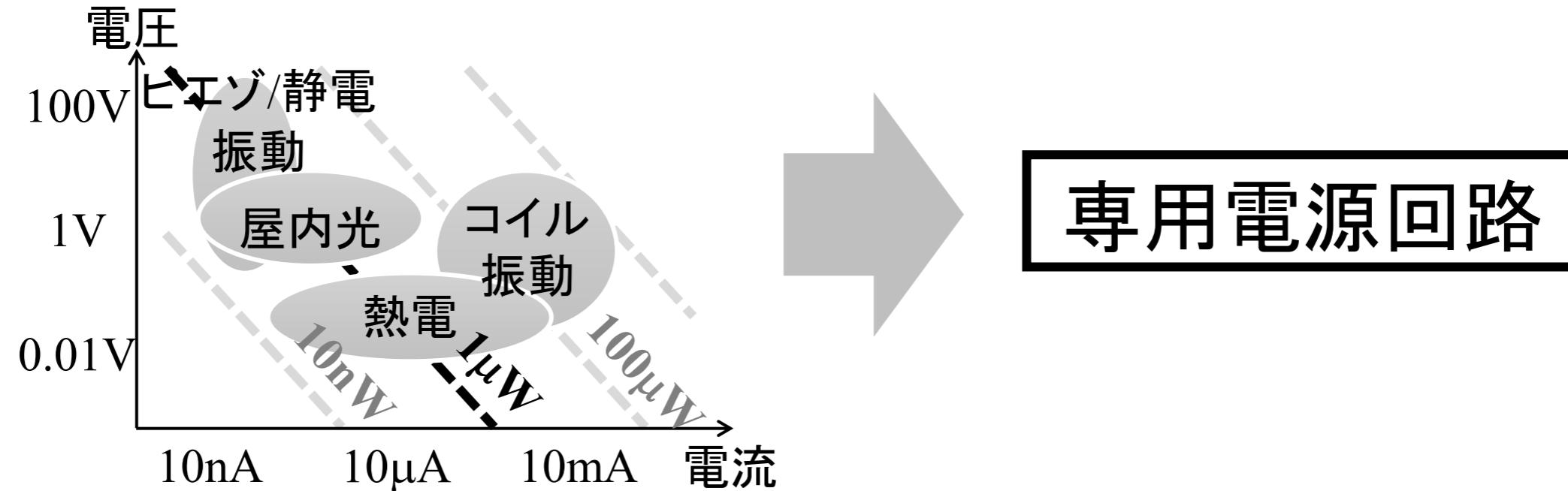
環境発電システムをアジャイルに構築するための電源回路技術

九州大学 システム情報科学研究院 情報エレクトロニクス部門
准教授 矢嶋 趟彬

2025年8月7日

無線センサノードの電源問題

少量多品種な発電素子



少量多品種な発電素子に対して
専用電源回路の開発は難しい

汎用電源回路の取り組み

- 汎用モジュール(環境発電お手軽評価キット)
東京エレクトロンデバイス(2012)
- All-in-one chip "OptiJoule"
Trameto(UK, 2018)

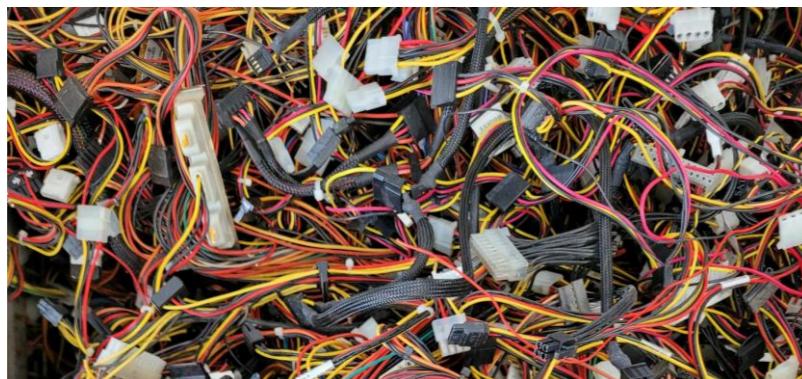


チップコスト大、対応できない発電素子あり、拡張は困難、差別化できない…
「筋が悪い」

必要なのは専用電源回路を迅速に作れるプラットフォーム

EH電源回路開発のプラットフォーム技術

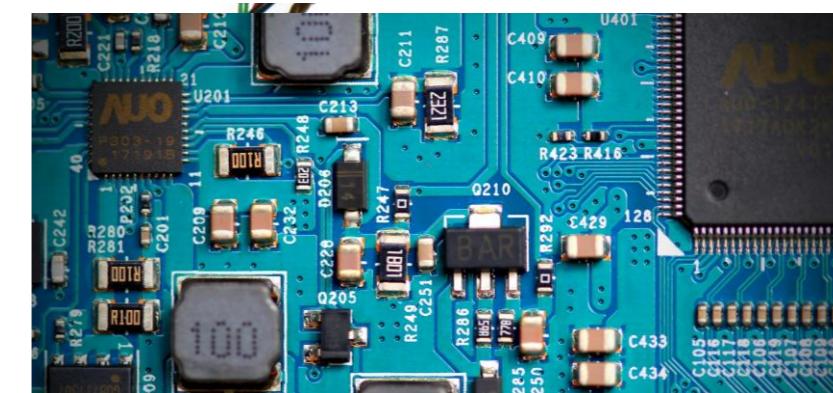
従来のEH電源回路



单一チップ
機能性、低消費電力性



プラスアルファの技術



部品ごとにパッケージ化
拡張性、単純性

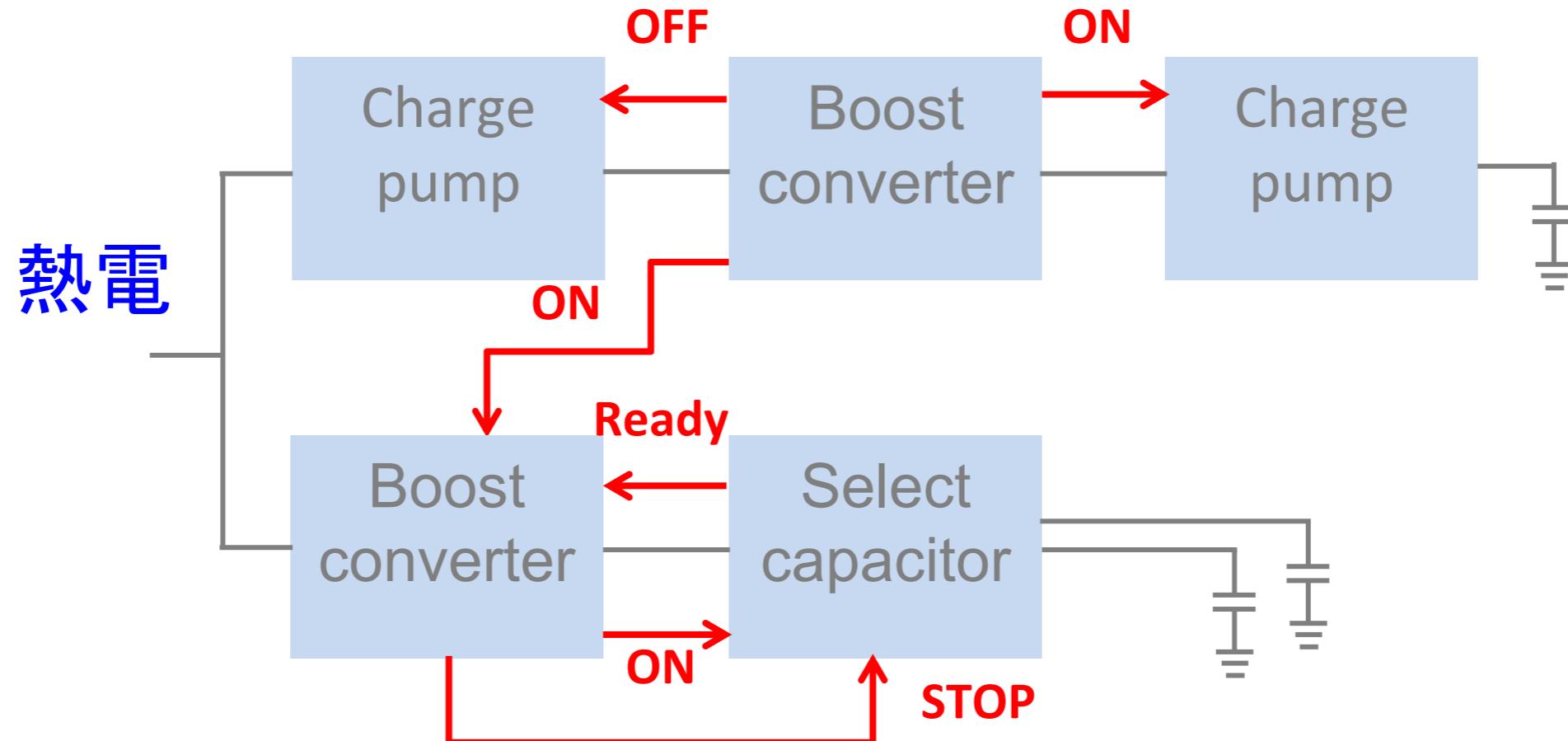
アナログ回路の①分散設計技術と②自立適応技術
→EHの専用電源回路のアジャイル開発が可能に

従来技術とその問題点

既に様々なエネルギー源を活用した環境発電素子が開発されているが、

個々の素子に適した電源回路が入手できない
性能を上げようすると開発コストがかかる
等の問題があり、広く利用されるまでには至っていない。

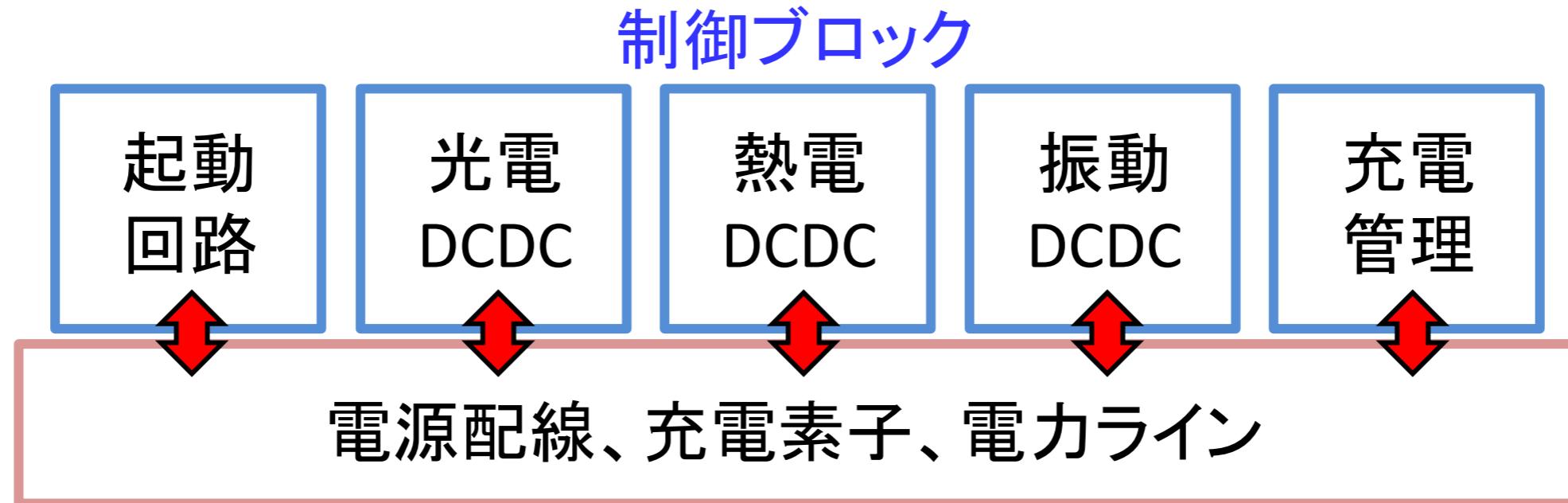
従来の制御



安定動作、例外処理、高機能化のため
ブロック間で情報のやりとりが発生

提案の分散設計

タネンバウム、スティーン、分散システム(Pearson, 2003)

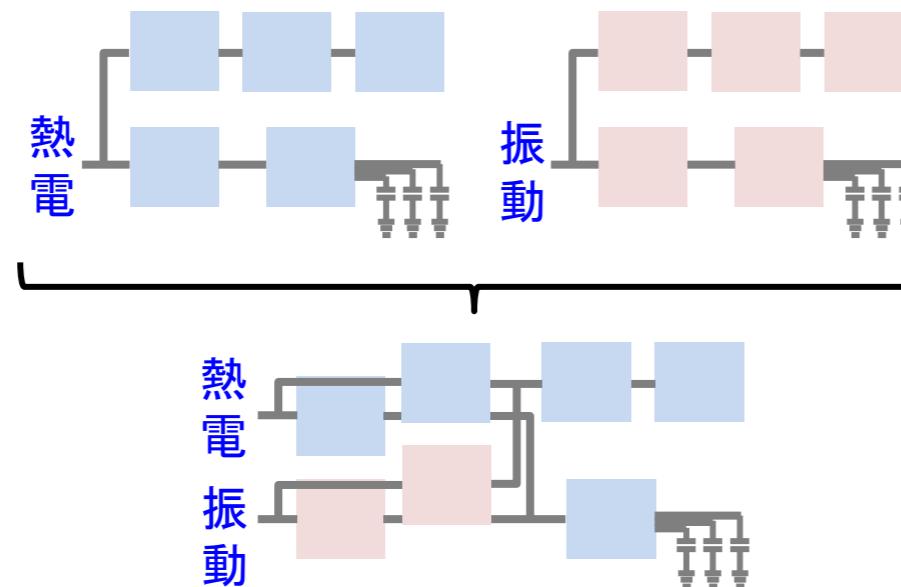


各制御ブロックは下層とのやりとりのみケアすることで
他の制御ブロックと直接やりとりする必要がない("透明性")

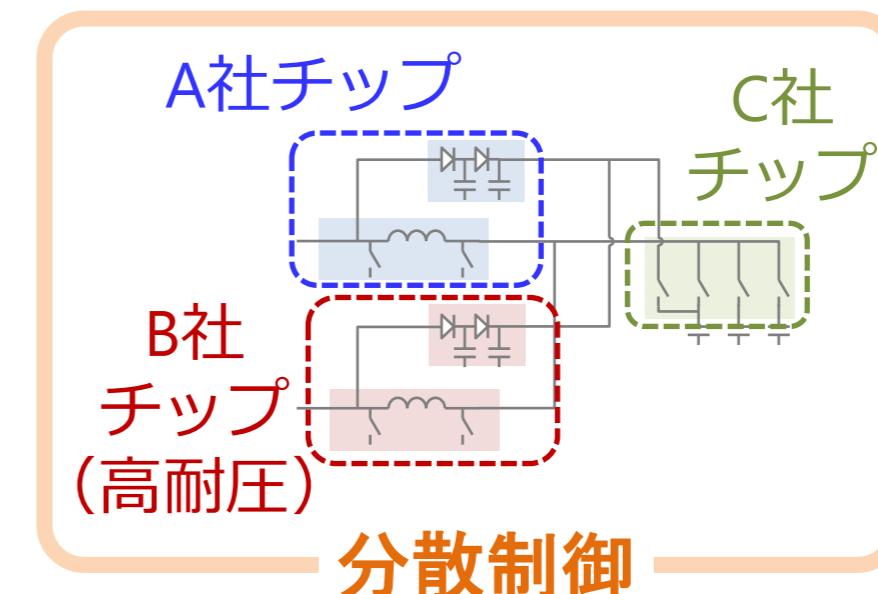
分散制御による電源回路の拡張性

特願2024-144447

熱電発電 + 振動発電



開発プラットフォーム

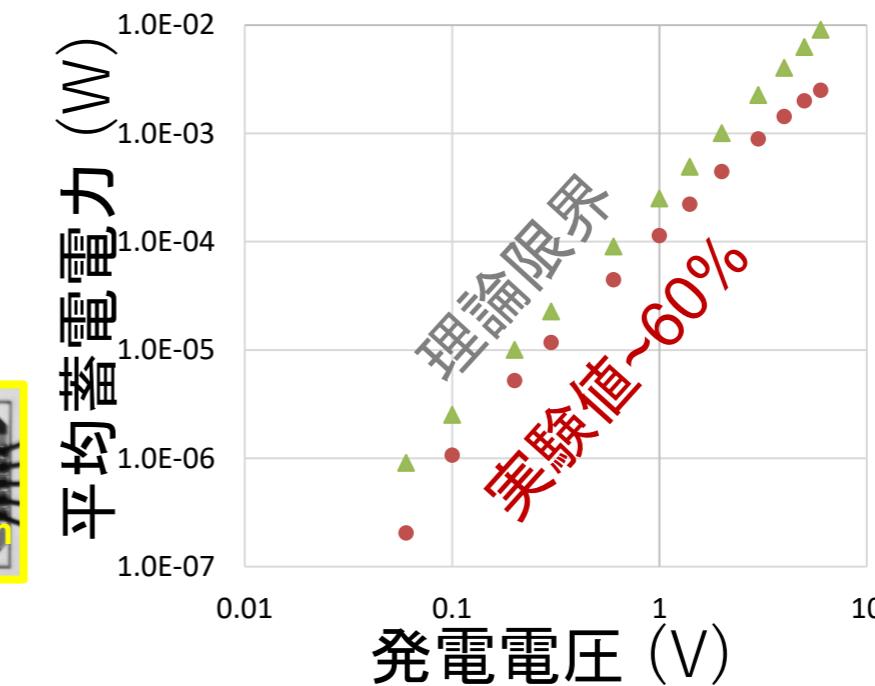
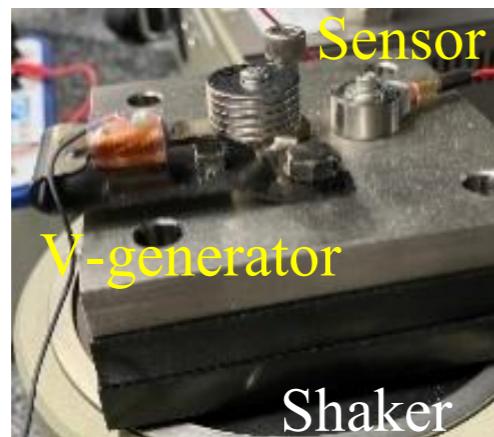


ブロックを接続しなおすだけ
で良好動作(デバグ無し)

ブロックごとの開発・差別化
が可能

振動発電用電源回路の試作例

磁気振動発電素子
(金沢大 上野研)



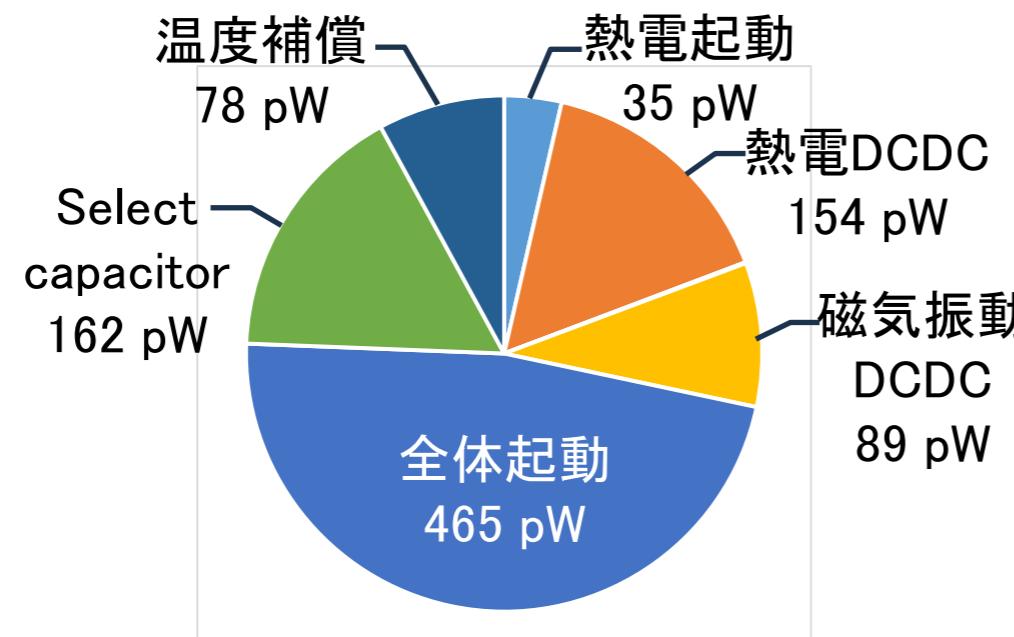
試作チップ(TSMC 180nm)でsub-uWの給電も実証

T. Y., IEEE Trans. Pow. Electron. 39, 1269 (2024)

分散設計でも差別化は可能

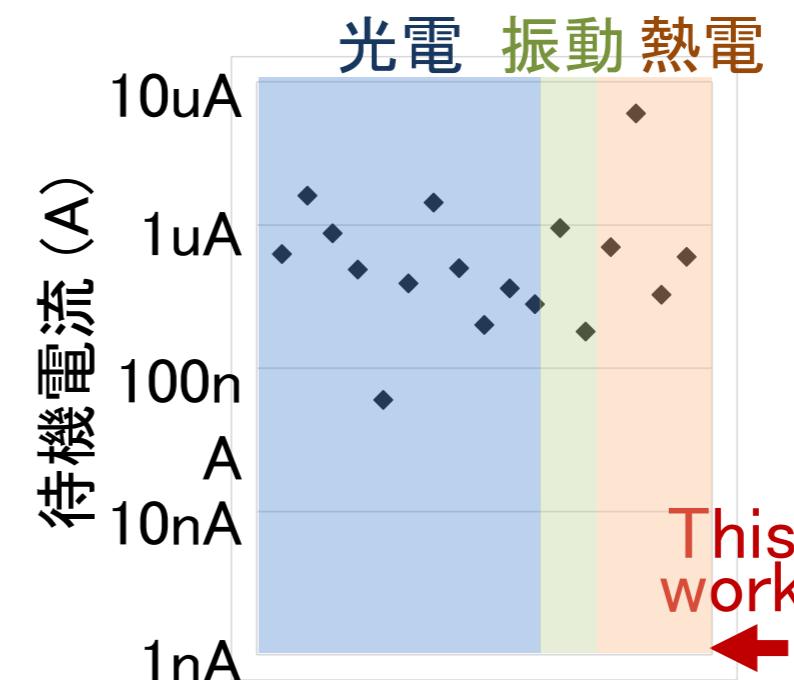
熱電+磁気振動用電源回路の待機電力

シミュレーション値 984 pW (pA)
(TSMC 180nm Slow)



市販の環境発電用電源回路

ベンチマーク



電源回路の単純性と差別化の両立が可能

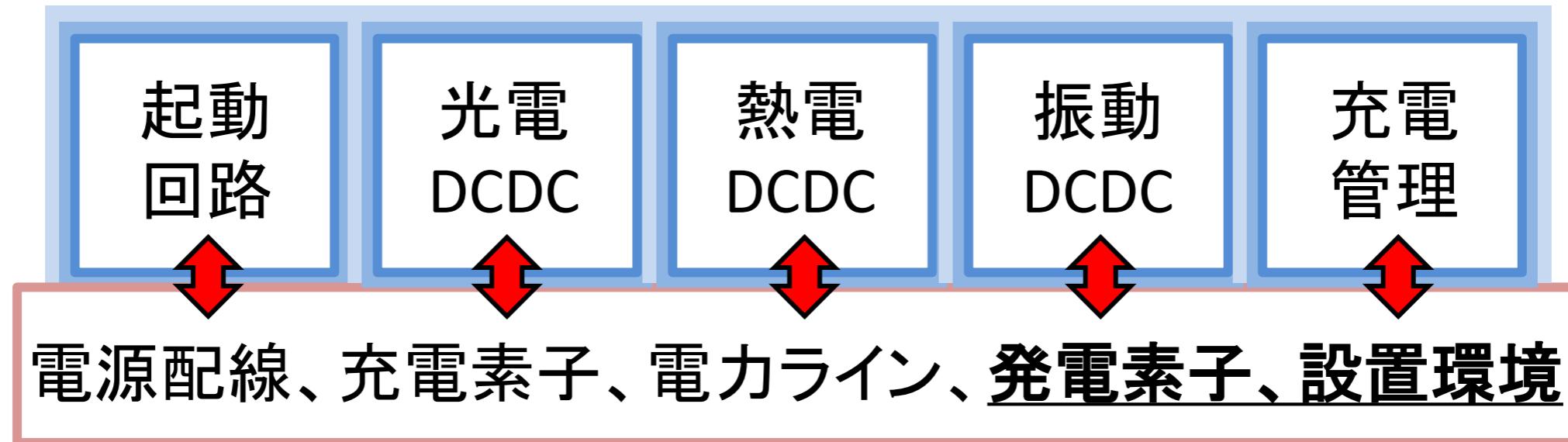
新技術の特徴・従来技術との比較

特願2024-144447

- 従来技術の問題点であった、電源回路の「開発コストの高さ」を、軽減することに成功した。
- 従来は電源回路（電圧変換、充電管理、起動、MPPT、補償、その他例外処理）を1チップで作製していたが、分散設計により個別開発が可能となった。
- 本技術の適用により、電源回路の一部を容易にカスタマイズでき、開発コストが1/5程度まで削減されることが期待される。

従来の設計

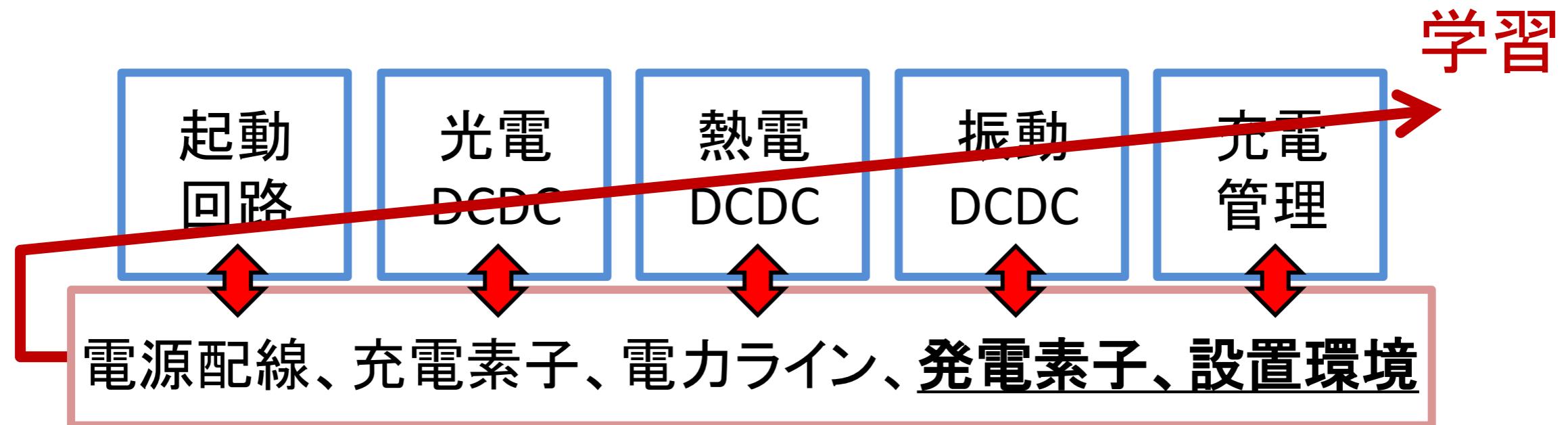
設計が複雑化(例外処理、経年劣化対応、カリブレーション)



多様なケースをモデル化

古典的な「フレーム問題」

提案の設計

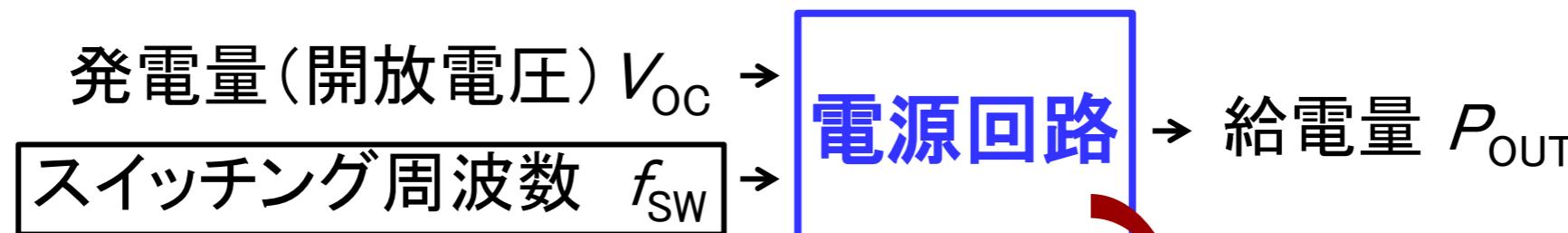


モデル化しない、複雑な設計を学習で代替

設計者負担を代替する「学習」機能

「分散制御」特願2024-151483

- ◆ P_{OUT} を最大化するための f_{SW} の制御方法を学習したい



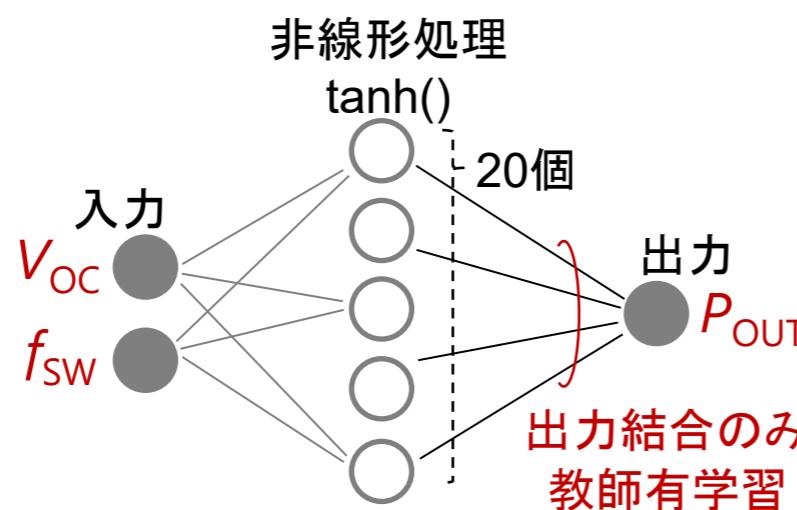
- ◆ デジタルツインを使って f_{SW} を最適化



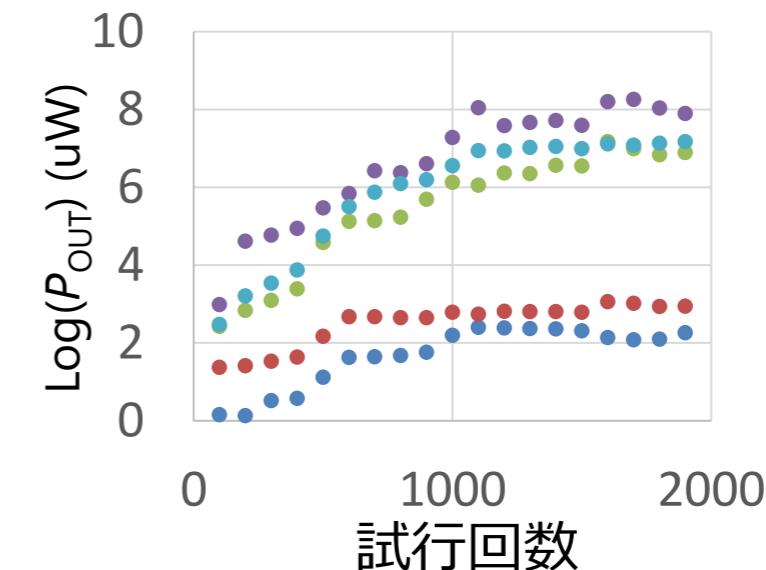
間欠的に各 f_{SW} (離散値)に対する P_{OUT} を計算し
最大値を選択("貪欲方策")

デジタルツインの学習

学習の計算量が少ない
ニューラルネット
Extreme Learning Machine



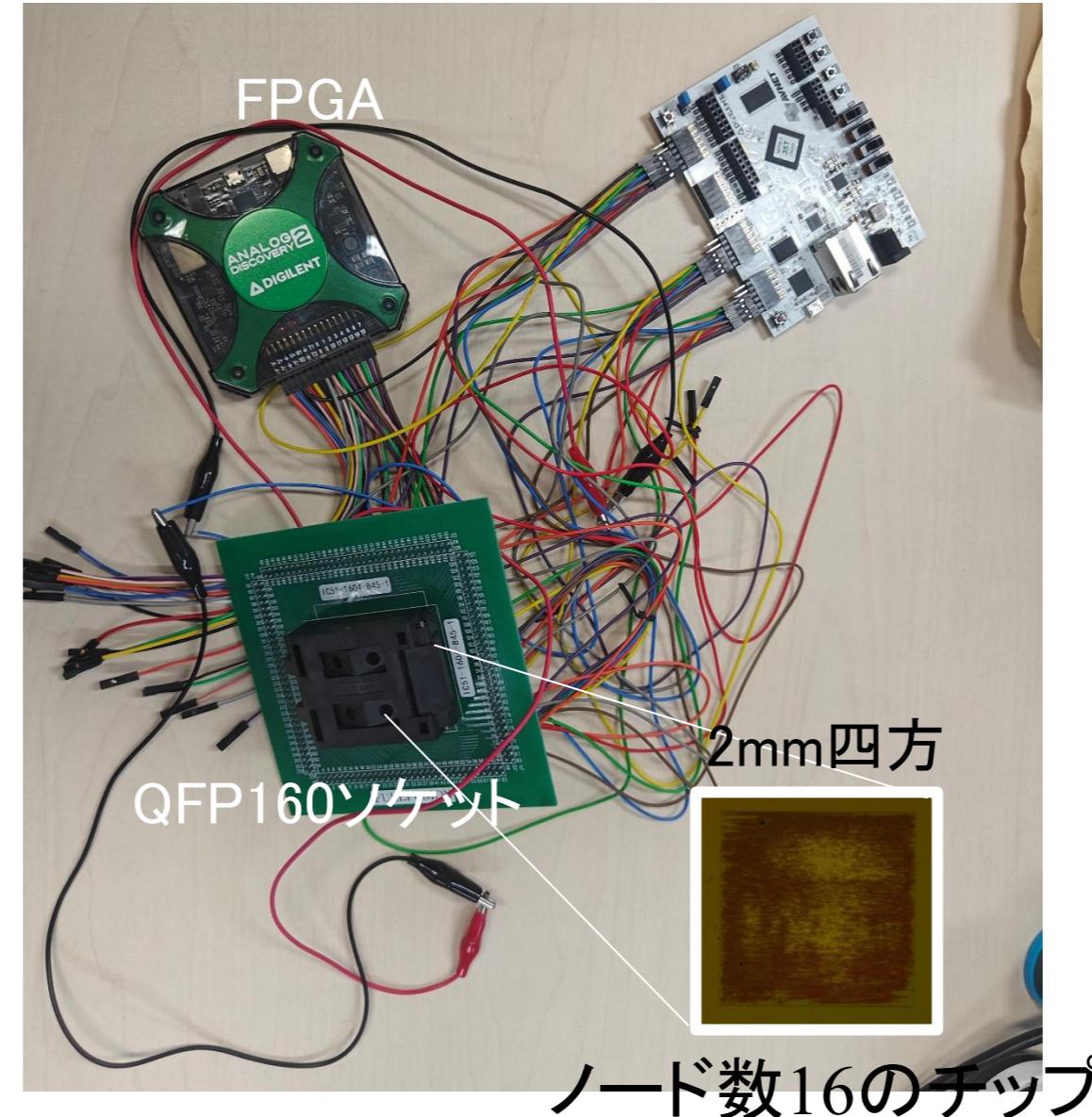
デジタルツインの学習
5種類の (V_{OC}, f_{SW}) 対に対する
 $P_{OUT}(V_{OC}, f_{SW})$ の学習過程



1000 stepで学習が収束(学習1回/sでも15minで学習完了)
深層学習より2桁高速学習

ASIC of Extreme Learning Machine

評価中



FPGA

QFP160ソケット

2mm四方

ノード数16のチップ

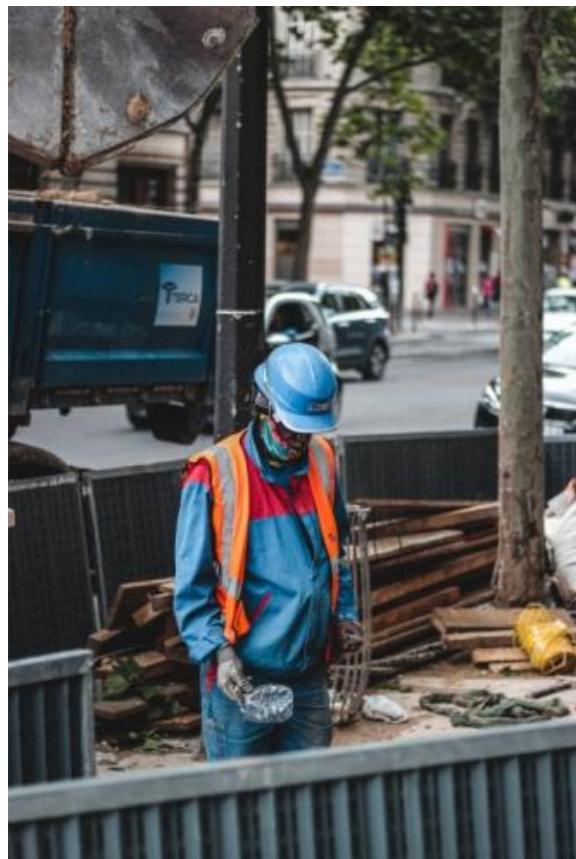
新技術の特徴・従来技術との比較

「デジタルツイン」特願2024-151483

- 従来技術の問題点であった、電源回路の「開発コストの高さ」を、軽減することに成功した。
- 従来は、発電素子の経年変化、温度依存、非線形性等に対して個別の回路設計が必要であり、また発電素子のインピーダンス整合や特性ばらつき補償のため回路の初期カリブレーションが必要だったが、デジタルツイン技術で回路自身が適応学習することで個別設計もカリブレーションも不要となる。
- 本技術の適用により、電源回路が単純化し、開発コストが1/2程度まで削減されることが期待される。

想定される用途

ヘルメット、ウェアラブル、スポーツ



大量の後付けセンサ



景観を乱したくない場所のセンシング



想定される用途

- 工場での装置、インフラ監視、災害予知、ウェアラブルデバイス、スポーツ用品等への半永久的な電源供給が可能になると考えられる。
- また、デジタルツインで利用する学習回路チップに着目すると、異常検知、予防医療、個人認証といった分野や用途に展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、分散設計について個々の回路ブロックまで試作済み。現在、発電素子を組み合わせたシステム全体の実証実験を進めている。
- 現在、デジタルツイン技術についてASIC 2号機まで試作済み。現在、チップ評価と3,4号機の試作を進めている。
- 実用化に向けて、複数の環境発電素子に対してアジャイルな回路開発を実証していく必要あり。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・シミュレーションによるコンセプト実証が完了	
現在	・ASICの試作・評価が進行中	
2年後	・分散設計とデジタルツインを用いたアジャイルな電源回路開発プラットフォームが実現	ソリューション/回路設計企業への技術移転
5年後	・電源回路開発プラットフォームを使用した環境発電システムの普及	成功事例の蓄積
8年後	・環境発電からセンサ・アクチュエータまで含めた開発プラットフォームへ拡張	ウェアラブルデバイスやインフラ監視デバイス等の実証

企業への期待

- 幅広い環境発電のニーズとデバイス開発力を持つ企業との共同研究を希望。
- 回路設計会社または電源回路メーカーとの共同研究を希望。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は多様な環境発電素子に対する回路開発プラットフォームを可能するため、環境発電のニーズを持つ様々な企業に貢献できると考えている。
- デジタルツインで使用する学習回路チップは、エッジデバイスでのオンライン学習を必要とする多様な応用（異常検知や認証など）が可能。

本技術に関する知的財産権

<電源回路の分散制御技術>

- 発明の名称 : 電源回路、および電源モジュール
- 出願番号 : 特願2024-144447
- 出願人 : 九州大学
- 発明者 : 矢嶋赳彬, 孫世元

<電源回路のデジタルツイン技術>

- 発明の名称 : 電源モジュール
- 出願番号 : 特願2024-151483
- 出願人 : 九州大学
- 発明者 : 矢嶋赳彬, 文雨翔

产学連携の経歴

- 2017年-2020年 JST さきがけ事業に採択
- 2020年-2022年 電子部材メーカーと共同研究実施
- 2021年-2022年 電子部品メーカーと共同研究実施
- 2021年-2023年 JST CREST事業に分担参加
- 2021年-2024年 JST CREST事業に分担参加
- 2022年-現在 NEDO未踏チャレンジ事業に採択
- 2024年-現在 電子部品メーカーと共同研究実施

お問い合わせ先

九大OIP株式会社
サイエンスドリブンチーム

TEL 092-400-0494

e-mail transfer@airimaq.kyushu-u.ac.jp