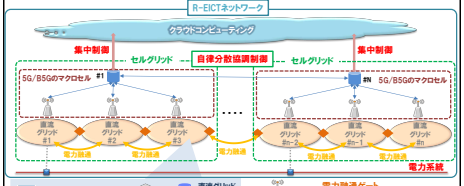
第3回JST OPERAシンポジウム

「自律分散協調型直流マイクログリッドの全体最適化を実現する電力・通信融合ネットワークコア技術の開発」

「電力・通信融合ネットワーク共創コンソーシアム」

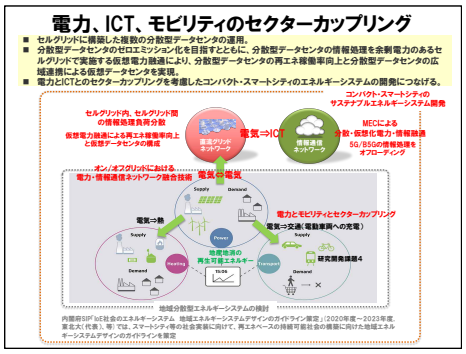
研究戦略部門長：　岩月勝美　東北大学災害科学国際研究所
課題責任者：　山田博仁　東北大学災害科学国際研究所

電力・情報通信の融合によるR-EICTネットワーク 自律分散協調制御と集中制御による全体最適



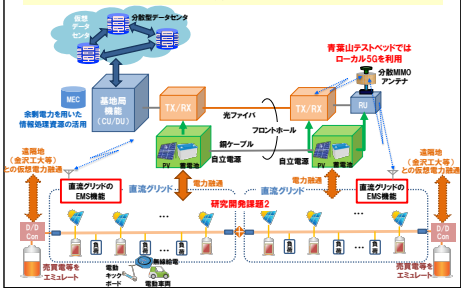
電力、ICT、モビリティのセクターカップリング

- セルグリッドに構築した複数の分散型データセンタの運用。
- 分散型データセンタのゼロエミッション化を目指すとともに、分散型データセンタの情報処理を余剰電力のあるセルグリッドで実施する仮想電力融通により、分散型データセンタの再エネ稼働率向上と分散型データセンタの広域運用による仮想データセンタを実現。
- 電力とICTとのセクターカップリングを考慮したコンパクト・スマートシティのエネルギーシステムの開発につなげる。

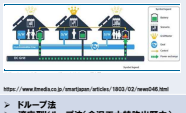


青葉山テストベッド

- 青葉山テストベッドでは、OPERA及びB5Gとの連携による効率的な実証実験(PoC)を実施。
- シミュレーターとハードウエアによる検証を実施。



直流グリッド単体の制御方式

	直流グリッド	直流グリッド内の制御法
集中制御 FB & FF		2014年1月-3日テクニカルレビュー第184号
P2P	 https://www.hmedia.co.jp/smartjapan/articles/1803/02/news046.html	2014年12月から、ソニーCSLが沖縄県で実施。19棟の住宅間を350Vの直流電力線および通信線で接続。各住宅に設置した蓄電池システムを住宅ノードには共通のソフトウエアが組み込まれており、協調動作を行うことでグリッドを形成。「グリッドマスター」と呼ばれるノードが設定され、各ノード間で電力融通の必要を判断した場合、グリッドマスターがグリッドの基線電圧を制御し、電力融通を行う。グリッドマスターに障害が発生した場合、他のノードがグリッドマスターの役割を引き継ぐ。SD解析度の精度が上昇。電力融通を行わない時は、基線電圧は0V
自律分散協調	➢ ドループ法 ➢ 適応型ドループ法(金沢工大特許出願中) ➢ 電気慣性力法(東北大特許出願中)	直流グリッド内の各構成要素が基線電圧を自律分散協調制御

FB: Feedback, FF: Feedforward, P2P: Peer to Peer, BD: Big data

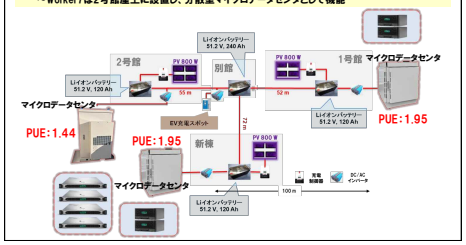
自律分散協調制御システムの特徴

- 集中制御：各サブシステムは、一箇所の集中制御装置で、同一の制御則で全体最適となるように制御
- 自律分散協調制御：各サブシステムは、各々の制御則に従って自分自身を制御(自律分散)。システム全体が部分最適にならないように、必要に応じて、一箇所の中央制御装置で、各サブシステムを緩やかに制御し、システム全体を最適制御。

	既存システム（集中制御）	本提案のシステム（自律分散協調制御）
拡張	システムを拡張するため、システム全体の稼働停止	既存システムと並行して本システムを運用。本システムの拡張性を活かしながら、システム全体を止めることなく、サブシステムを導入
マイグレーション	既存システムから新規システムへの移行のため、既存システム全体の稼働停止	技術革新による新システム導入では、システム全体を止めることなく、サブシステムを順次、新規のサブシステムに置換
耐障害	故障対応のため、システム全体の稼働停止	システム全体を止めることなく、故障したサブシステムを修理
耐災害	復旧のための臨時サブシステム導入のため、システム全体の稼働停止	システム全体を止めることなく、復旧のための臨時サブシステムを導入

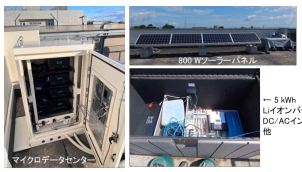
直流マイクログリッド上に構築したマイクロデータセンタ

- 青葉山テストベッドに構築された直流マイクログリッドは系統電力網と接続されていないオフグリッド
- 直流グリッドの負荷であるマイクロデータセンタは100%再エネで稼働
- 各マイクロデータセンタは、Dockerで構築され、1台のマスターノードと7台のWorkerノードからなり、Kubernetesによりオーケストレーションを実施
- マスターノードはWorker1と共に1号館屋上に、Worker2とWorker3は新棟屋上に、そしてWorker4～Worker7は2号館屋上に設置し、分散型マイクロデータセンタとして機能



マイクロデータセンタの諸元

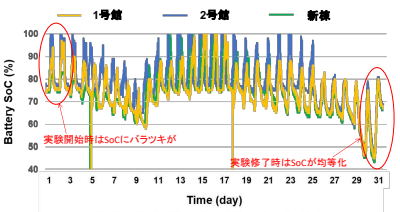
キャビネット	コスモシステム（株）製 SOMR19-6010W変形	背面パネル:R-SPAN-10W
クラスタサーバ	ProLiant Gen10 Plus（HPE製）4台	電源アダプタ容量:180 W
	CPU: Intel Xeon E2224（3.4 GHz）, 1プロセッサ	L3キャッシュ: 8MB
	搭載メモリ: DDR4 16 MB	OS: Linux（Ubuntu）
	搭載HDD: 8 TB × 2台	Docker/Kubernetes
冷却装置	屋外ラック用クーラー（KCD-05-D48）	大和電業（株）
	冷却能力: 570 W, 消費電力: 195 W（DC48 V）	



直流マイクログリッドとマイクロデータセンタ

マイクロデータセンタ間のジョブスケジューリングの効果

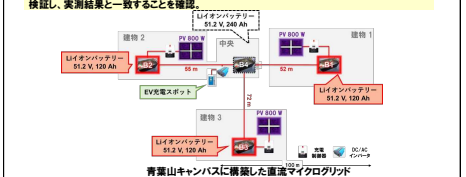
ジョブスケジューリングによって各バッテリのSoCが均等化



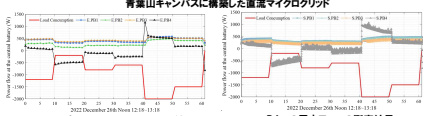
Battery SoC of 1-goukan & 2-goukan & shintou in Aug 2023

直流マイクログリッドの動作実証

青葉山キャンパスに構築した直流マイクログリッドについて、構築したシミュレーターでその動作を検証し、実測結果と一致することを確認。



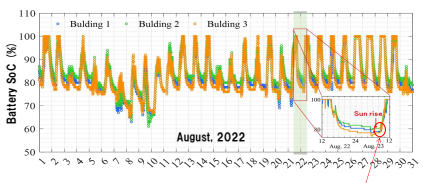
青葉山キャンパスに構築した直流マイクログリッド



B4への電力フローのシミュレーション結果　B4への電力フローの測定結果

自律分散協調制御による蓄電池のSoCの均等化

太陽光発電が停止する夜間に、各蓄電池のSoCが自律分散協調制御により均等化



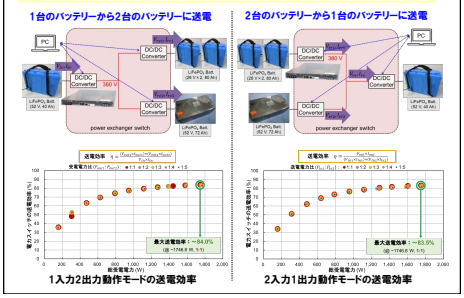
Building 4の電源Boxに電力負荷を接続した場合の電力フロー

日の出時刻にはSoCが均等に

3ポート直流電力スイッチ

複数の直流マイクログリッドを接続する多ポート直流電力スイッチを構築し、その動作検証を実施。

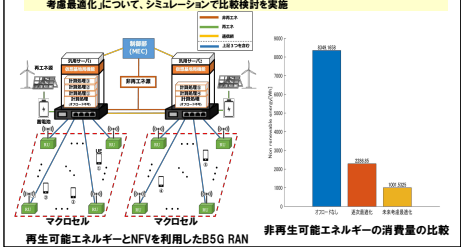
1台のバッテリーから2台のバッテリーに送電　2台のバッテリーから1台のバッテリーに送電



1入力2出力動作モードの送電効率　2入力1出力動作モードの送電効率

MECによる分散・仮想化電力・情報融通制御

- 仮想基地局機能を搭載する汎用サーバとRUで構成され、再生可能エネルギーで稼働する5G/B5GRANを想定
- 仮想基地局機能で発生するユーザトラヒック単位の情報処理を他の汎用サーバでオフローディングする際、汎用サーバ間での空間的、時間的な電力消費の不均衡について、「オフロードなし」、「空間的な不均衡のみを考慮した逐次最適化」「空間的および時間的な不均衡を考慮した未来考慮最適化」について、シミュレーションで比較検討を実施



再生可能エネルギーとNFVを利用したB5G RAN　非再生可能エネルギーの消費量の比較

◆ポスター内容や共同研究等について問合せ：
担当者: 尾辻　泰一
E-mail: taiichi.otsuji.e8@tohoku.ac.jp
住所: 〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻青葉４６８－１
Tel: 022-752-2036
HP: https://web.tohoku.ac.jp/opera/